A. Hydr.
1138.

A. hydr. 1138

Wetli

Grundzüge

eines neuen

Locomotivsystems für Gebirgsbahnen

Bibliothek
der
Schweizerischen

mit Bezugnahme auf die

Schweizerische Alpenbahnfrage.

Von

K. Wetli.

Zürich.
Verlags-Magazin.
(J. Schabelitz.)
1868.

173 - Bg.

BIBLIOTHECA
Bayerische
Staatsbibliothek
München

Druck von J. Schabelitz in Zürich.

Vorwort.

Seit der Erfindung der Locomotive werden die gewöhnlichen Strassen und die animalischen Zugkräfte der Fuhrwerke mit Riesenschritten durch Eisenbahnen und Dampfkraft ersetzt. Der ausserordentliche Erfolg dieses Motors im Allgemeinen erleidet jedoch zur Zeit noch eine fühlbare Beschränkung, indem sich seine Anwendung nur auf horizontale oder schwach geneigte Bahnen, nicht aber auf Gebirgsstrassen von mehr als 3 bis 4 Procent Steigung erstreckt. Wo stärkere Steigungen nicht oder nur durch zu grosse Kosten zu vermeiden sind, ist noch jetzt das gewöhnliche Fuhrwerk mit wenig Ausnahmen überall im Gebrauche. Dieser Umstand kann nicht in der Unzulänglichkeit der Dampfkraft überhaupt liegen, sondern muss seinen Grund in einer mangelhaften Art der Verwendung haben. Die Leistungsfähigkeit einer Locomotive, der mechanische Effect oder das Product von Kraft und Geschwindigkeit ist in der That an bestimmte Verhältnisse dieser Faktoren gebunden, welche die allgemeinere Anwendung beeinträchtigen. Keiner der Faktoren kann für einen konstanten Effect auf Rechnung des andern willkürlich verändert werden; es kann namentlich die Kraft ein gewisses Maass nicht überschreiten, weil sie bekanntlich von der Adhäsion der Treibräder auf den Schienen abhängt. Eine Locomotive z. B. von 20 Tonnen Adhäsionsgewicht mit einer Leistungsfähigkeit von 300 Pferdekräften oder 22500 Kilogramm-Metern per Secunde kann bei

einem Reibungscoefficienten von 0.15 keine grössere Kraft vermitteln als 20000 × 0.15 = 3000 Kilogramm, welcher Kraft bei der gegebenen Leistung eine Geschwindigkeit von 7.5 Meter per Secunde entspricht. Einen Widerstand von 5000 Kilogrammen mit 4.5 Meter Geschwindigkeit zu überwinden, was den gleichen Effect ausmacht, ist der Locomotive unter diesen Umständen nicht möglich, weil ein solcher Widerstand die Adhäsion der Räder übertrifft. In dieser Unmöglichkeit einer grössern Kraftentwickelung, als die Reibung auf den Schienen gestattet, liegt die Schwierigkeit der Anwendung der Locomotive nach bisherigem System auf starken Steigungen. Die Einbusse an Geschwindigkeit würde den Vortheil grösserer Zugkraft nicht aufwiegen, indem die Ausdehnung steiler Gebirgsbahnen im Verhältniss zur Länge der Thalbahnen immer klein sein wird und zudem die lokal reducirte Geschwindigkeit gewöhnlich durch eine entsprechende Abkürzung des Weges ausgeglichen wird. Die Vergrösserung der Adhäsion durch verhältnissmässige Vermehrung des Gewichtes der Maschine entspricht den Anforderungen um so weniger, je stärker die Bahn geneigt ist; das grössere Gewicht des Motors hebt die erhöhte Zugsfähigkeit wenigstens theilweise wieder auf und beide Elemente halten sich vollständig das Gleichgewicht, wenn der Sinus des Neigungswinkels der Bahn dem Reibungscoefficienten gleichkommt. Es ist bekannt, auf welche Weise das System *Fell* durch Vermehrung der Adhäsion ohne entsprechende Gewichtszunahme der Locomotive diesem Uebelstande auszuweichen strebt. Es fiele mir nicht schwer, nachzuweisen, dass durch dieses System der künstlichen Steigerung der Adhäsion den Anforderungen der Praxis nicht genügend entsprochen wird; ich mache mir indessen hier eine nähere Kritik bekannter exceptioneller Systeme nicht zur Aufgabe und weise nur noch in Bezug auf fixe Motoren darauf hin, dass der Anwendung derselben für lange Bahnstrecken die Schwierigkeit der Transmission wahrscheinlich immer hindernd im Wege stehen wird.

Im Hinblick auf die Unzulänglichkeit bekannter Systeme für grosse Bahnsteigungen habe ich gesucht, die Grenzen der Anwendbarkeit der Locomotive in dieser Beziehung auf andere Weise zu erweitern. Versuche in grösserem Maasstabe werden entscheiden, ob meine Idee den praktischen Anforderungen besser entspricht. Vor der Hand halte ich mich, gestützt auf folgende Theorie und auf Versuche vermittelst eines Modells in kleinem Maasstabe berechtigt, dies zu glauben. Das Resultat meiner Untersuchungen kann ich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1) Die Wagen gewöhnlicher Eisenbahnen können unverändert auf mein Bahnsystem übergehen.
2) Die Motoren sind Locomotiven, die auch gewöhnliche Bahnen befahren können.
3) Die Leistungsfähigkeit der Locomotiven wird in der Art erweitert, dass die Zugkraft auf Rechnung der Geschwindigkeit ausserordentlich vergrössert werden kann, so dass gewöhnliche Züge von schwach geneigten Bahnen auf starke Steigungen von 5 bis 7 Procent mit reducirter Geschwindigkeit übergehen können.
4) Die Betriebskosten wachsen in viel geringerem Grade mit der Steigung der Bahn als nach bisherigem System; Steigungen von 4 bis 5 Procent z. B. werden keine grössern Kosten verursachen als Steigungen einer gewöhnlichen Bahn mit 2.5 Procent. Es wird namentlich die Abnutzung des Materials verhältnissmässig viel geringer sein.
5) Die Sicherheit des Betriebes wird nicht beeinträchtigt.

Riesbach bei **Zürich**, Juni 1868.

K. Wetli, Ingenieur.

Inhalt.

I. Theil.

Grundzüge des Systems.

Seite

Bewegungsmittel 1
Conizität der Spiralfelgen 3
Wirksamkeit des Spiralrades unter normalen Verhältnissen 4
Wirksamkeit des Spiralrades, wenn die Winkel der Tangenten an den Berührungspunkten grösser ist als der Winkel der Leitschienen 10
Wirksamkeit des Spiralrades, wenn der Winkel der Tangenten an den Berührungspunkten kleiner ist, als der Winkel der Leitschienen 16
Vermeidung des schädlichen Fehlers 19
Combination der beiden Arten von Treibrädern 21
Widerstand, welchen die Spiralräder verursachen 23
a) Widerstand unter normalen Verhältnissen 23
b) Widerstand, welcher aus der gegenseitigen Abweichung der Winkel der Leitschienen und der Tangenten am Rade hervorgeht 23
c) Widerstand, welcher aus der Abnutzung der Leitschienen hervorgeht . 24
d) Widerstand, welchen die Kuppelung gewöhnlicher Treibräder mit einem Spiralrade verursacht 25
e) Widerstand durch Bahnkrümmungen 26
f) Totalwiderstand auf gerader Bahn 26
Betrag des Kraftverlustes bei verschiedenen Combinationen beider Räderarten . . 26
Ein Spiralrad mit zwei gewöhnlichen Treibaxen 26
Ein Spiralrad mit vier gewöhnlichen Treibaxen 27
Zwei Spiralräder mit vier gewöhnlichen Räderpaaren 28
Leistungsfähigkeit einer Maschine nach combinirtem System in Bezug auf das Traingewicht bei verschiedenen Steigungen und Geschwindigkeiten 29
Vergleichung der Leistungsfähigkeit beider Systeme 39
Vergleichung der Fahrzeit nach beiden Systemen 41

II. Theil.

Anwendung auf den Gotthard mit Rücksichtnahme auf die schweizerische Alpenbahnfrage im Allgemeinen.

Technische Verhältnisse der Projekte nach beiden Systemen 43
Betriebskosten nach beiden Systemen 46
Fahrzeit 66
Baukosten 67
Rentabilität 68
Schluss 71

I. Theil.

Grundzüge des Systems.

Bewegungsmittel.

Rollt man eine zylindrische, gleichförmig gewundene Spirale auf einer Ebene, so erzeugt sie gerade Spuren, welche zur Drehungsaxe eine den Tangenten an den Berührungspunkten entsprechende Neigung haben. Denkt man sich parallel dieser Spuren und in der gleichen Ebene feste Leitschienen und nimmt man an, es könne keine Verschiebung in der Richtung der Axe stattfinden, so muss die Spirale bei der Rotation ohne irgendwie gleiten zu können, also unabhängig von der Adhärenz senkrecht zur Axe vorwärts rollen. Setzt man eine rechts und eine links gewundene Spirale zusammen und bringt man für beide Windungen correspondirende Leitschienen an, so wird dadurch jede seitliche Bewegung aufgehoben, und ein so construirtes Rad wird durch die tangirenden Schienen gezwungen, sich nach Maassgabe der Drehung und des Durchmessers vorwärts zu bewegen. Auf diesem Principe beruht mein System. Die gewöhnlichen Räder mit geschlossenen Kreisfelgen werden durch Räder mit geöffneten, spiral- oder schraubenförmigen Felgen ergänzt. Räder dieser Form sind jedoch wegen der Veränderlichkeit der Lage der Stützpunkte nicht gut geeignet, die Last der Lokomotive aufzunehmen, es wird daher den Spiralrädern lediglich die Funktion der Bewegung, das Gewicht dagegen den gewöhnlichen Rädern übertragen.

Für die Placirung des neuen Organs hat man den freien Raum, welcher zwischen den Schienen und den Spurkränzen der gewöhnlichen Räder übrig bleibt zur Verfügung. Bei der üblichen Spurweite von 1.436^{m} innerhalb der Schienenkanten beträgt dieser Raum 1.302^{m}.

Aus dieser Begrenzung der convergirenden Leitschienen folgt die Nothwendigkeit einer Unterbrechung und Wiederholung derselben in gewissen Abständen, welche zu 1.6^{m} in der Richtung der Bahnaxe angenommen werden. Zur Abstumpfung der Spitzen der schiefen Schienen wird ferner eine Dimension von 0.122^{m} nach der Bahnbreite vorgesehen und es bleibt mithin für die Kanten der Leitschienen ein Spielraum von $1.302 - 0.122 = 1.18^{m}$. Die Tangente des Winkels φ der Leitschienen gegen die Bahnaxe beträgt daher:

$$(1) \quad \begin{cases} tang\ \varphi = \frac{0.59}{1.6} = 0{,}36875 \\ \text{und der Winkel selbst:} \\ \varphi = 20^{0}\ 14' = 0.3532. \end{cases}$$

Je nach dem Durchmesser der Treibräder erhält man einfache oder mehrfache Spiralgänge; immerhin muss in der Distanz der schiefen Schienen senkrecht zur Bahnaxe einem Ende in der Mitte ein Anfang auf der Seite oder umgekehrt entsprechen und die Länge einer spiralförmigen Felge gleich der Länge der schiefen Schienenkanten sein. Das angenommene Rad ist zweifach; bei einer halben Umdrehung wird ein Weg gleich dem gegenseitigen Abstande der Leitschienen von 1.6^{m} zurückgelegt. Die Grösse des Durchmessers d ergibt sich demnach aus:

$$(2) \quad d = \frac{2 \times 1.6}{3.1416} = 1.0186^{m}.$$

Das Spiralrad soll nicht dazu dienen, die Bewegung der Maschine allein zu vermitteln, dasselbe soll vielmehr die gewöhnlichen Treibräder nur in so weit ergänzen, als die Adhäsion der letztern zur erforderlichen Kraftvermittelung nicht hinreicht. Die Locomotive behält demnach die Fähigkeit, sich ohne Mithülfe der Leitschienen wie eine gewöhnliche Maschine zu bewegen. Denkt man sich ein Spiralrad mit der Axe eines gewöhnlichen Treibrades verbunden oder als besonderes Rad mit einem solchen gekuppelt, so erhält man ein System von Treibrädern, das vermittelst der schiefen Schienen auch unabhängig von der Adhäsion eine bestimmte Kraft vermitteln kann. Ist dagegen die Adhäsion der äussern gewöhnlichen Räder für den zu überwindenden Widerstand hinreichend, so können sich die combinirten Räder vorwärts bewegen, ohne dass die Spiralfelgen die Leitschienen berühren, indem dieselben von einer Schienenkante zur andern freien Spielraum haben. Genügt aber die Adhäsion nicht mehr, so wird ein Gleiten auf den äussern Schienen eintreten, bis die Spirale die Leitschienen berührt, worauf ein der Rotation entsprechendes Fortschreiten erfolgt und jedes Gleiten aufhört, vorausgesetzt, es sei der

Abstand der Berührungspunkte der Spirale von ihrer Axe gleich dem Radius der äussern Räder. Der Widerstand, welcher durch ein solches System bewältigt werden kann, entspricht demnach der Summe des Widerstandes aus der Adhäsion der äusseren Räder und des Widerstandes, welchen die Spirale zu leisten vermag.

Bezeichnet man den Totalwiderstand in der Richtung der Bahn mit W, den Widerstand, den das Spiralrad auszuhalten hat, mit w, das Gewicht, mit welchem die Treibräder auf die äussern Schienen drücken, mit P und den Reibungscoefficienten mit f, so findet die Beziehung statt:

$$W = Pf + w \qquad (3)$$

Die Grösse w hängt von dem zwischen der Spiralfelge und den Leitschienen zulässigen Drucke ab, welcher seinerseits von dem Winkel dieser Schienen gegen die Bahnaxe und von der Form der Spiralfelgen abhängig ist.

Conizität der Spiralfelgen.

Die Wirksamkeit der Spiralfelgen bedingt zunächst ein Uebereinandergreifen derselben mit den Leitschienen. In der Zeichnung sei AA die Spiralfelge, TT die berührende Spirallinie im Aufriss, $ao = r$ der Radius von TT, SS und $S'S'$ Auf- und Grundriss der tangirenden Schienenkanten, SS'' die Bahnaxe, $\varrho = ac$ die Grösse, um welche die Felge unter die Linie SS reicht. Angenommen, die erzeugende Linie der Seitenfläche der Felge stehe senkrecht zur Axe des Rades, so fallen die Punkte a und c in einen Punkt a' im Grundriss zusammen; von den Horizontalprojektionen der Punkte b und d, wo die Schienenkante mit dem äussern Umfange AA im Aufriss zusammenfällt, kommt der eine innerhalb, der andere ausserhalb $S'S'$ zu liegen; die Schienenkante würde also die Radfelge schneiden. Die Berührung von Rad und Schienen könnte desshalb nur bei b oder d stattfinden, je nachdem die Felge auf der innern oder äussern Seite der Leitschienen angenommen wird, wodurch bei einer Drehung des Rades eine scheerende Wirkung entstünde. Die erzeugende Linie der Seitenfläche der Felge darf also nicht senkrecht auf der Axe stehen, sondern muss einen Winkel α mit derselben bilden, der durch folgende Ungleichheit bestimmt wird:

$$\frac{\varrho}{tang\,\alpha} > r\ tang\ \varphi\ \{tang\ \psi - \psi\}$$

worin ψ von $cos\ \psi = \frac{r}{r+\varrho}$ abhängt.

Setzt man für r und $tang\ \varphi$ die Werthe aus (1) und (2) und nimmt man $\varrho = 0.015^m$ an, so folgt:

$$\frac{1}{tang\ \alpha} > 0.0294 \text{ oder } tang\ \alpha < 34.$$

Die Conizität muss also etwas mehr als $^1/_{34}$ betragen. Setzt man dieselbe gleich $^1/_7$ oder:

(4) $$tang\ \alpha = 7$$

und nimmt man ferner an, die Leitschienen reichen wenigstens mit der Neigung der Felgen noch um ϱ oder um so viel über die tangirende Kante SS hinauf, als die Felge hinunterreicht, so dass das gesammte Uebereinandergreifen $2\varrho = 0.03^m$ beträgt, so ergibt sich als kleinster Abstand bei einem der Punkte e oder f zwischen Rad und oberer Schienenkante:

$$\delta = \frac{2\varrho}{tang\ \alpha} - tang\ \varphi\ \{(r - \varrho)\ tang\ \psi' - r\psi'\}$$

wenn $cos\ \psi' = \frac{r - \varrho}{r + \varrho}$, woraus folgt:

(5) $$\delta = 0.004^m.$$

Dieser Spielraum von 4 Millimetern wird hinreichen, um allfälligen Unregelmässigkeiten der Schienen und der Abweichung der Radaxe von der radialen Stellung in Curven in so weit Rechnung zu tragen, dass in keinem Falle ein Streifen der Radfelgen an den Schienen bei e oder f erfolgt.

Wirksamkeit des Spiralrades unter normalen Verhältnissen.

Denkt man sich zur Bestimmung des Druckes zwischen den Spiralfelgen und den Leitschienen an die tangirenden Kanten SS beider Schienen unter dem Neigungswinkel α der Seitenflächen der Felgen Ebenen gelegt, so werden sich je zwei correspondirende in der Richtung SC oder SC' schneiden, je nachdem dieselben an den äussern oder innern Schienenkanten liegen. Die Neigung dieser Durchschnittskanten gegen die Bahnaxe sei β und der Winkel je zweier dieser Ebenen zu einander γ. Wirkt nun in der Entfernung $r = a\,o$ von der Axe eine Kraft w zur Umdrehung des Rades, so kann man sich dieselbe an den Berührungspunkten a in zwei Kräfte zerlegt denken, von welchen die eine senkrecht zur Durchschnittskante SC und die andere parallel derselben wirkt. Die erstere wird durch w sin β, die zweite durch w cos β ausgedrückt. Die Kraft

w sin β übt auf jede der beiden Schienen einen Druck n aus, welcher durch die Gleichung:

$$n = \frac{w \sin \beta}{2. \sin {}^1/_2\gamma} \tag{6}$$

bestimmt wird. Die Winkel β und γ werden aus den bekannten Winkeln φ und α gefunden. Es ist nämlich:

$$tang\ \beta = sin\ \varphi\ tang\ \alpha = 2.4220 \tag{7}$$

und

$$sin\ {}^1/_2\gamma = \sqrt{1 - cos^2\ \varphi\ sin^2\ \alpha} = 0.3702. \tag{8}$$

Die Kraft w cos β strebt das Rad in der Richtung von SC aus den Schienen zu heben; damit diess, abgesehen von andern Widerständen, nicht geschehen kann, muss die Beziehung stattfinden:

$$2nf \geqq w\ cos\ \beta$$

wenn f den Reibungscoefficienten zwischen Rad und Schienen bezeichnet. Ersetzt man n durch den Werth in (6), so folgt:

$$f \geqq \frac{sin\ {}^1/_2\gamma}{tang\ \beta} \text{ oder } f \geqq 0.153. \tag{9}$$

Die Grenzen der Veränderlichkeit des Reibungscoefficienten können zu 0.25 und 0.10 angenommen werden. Bei gewöhnlichem Zustande der Schienen, d. h. bei einer Reibung von 0.153 würde also kein Ausgleiten statt finden, selbst wenn kein weiterer Gegendruck von oben wirksam wäre; sinkt aber die Adhäsion unter 0.153, so ist ein Theil des Gewichtes der Maschine erforderlich, um ein Ausgleiten zu verhindern. Dieser mitwirkende Theil G des Gewichtes kann wieder in eine zu SC senkrechte Kraft $G\ cos\ \beta$ und in eine zu SC parallele Kraft $G\ sin\ \beta$ zerlegt gedacht werden. Aus der erstern folgt ein neuer Druck auf die Leitschienen und die letztere wirkt der Kraft $w\ cos\ \beta$ entgegen. Bezeichnet man den Totaldruck aus w und G auf die Schienen mit N, so hat man:

$$N = \frac{w \sin \beta}{2. {}^1/_2 sin\ \gamma} + \frac{G \cos \beta}{2 \sin {}^1/_2\gamma} \tag{10}$$

Die Bedingung, damit kein Ausgleiten erfolgt, ist:

$$2\,Nf + G\ sin\ \beta \geqq w\ cos\ \beta \tag{11}$$

Durch Elimination von N aus diesen beiden Beziehungen folgt:

$$G \geqq w.\ \frac{cos\ \beta\ sin\ {}^1/_2\gamma - f\ sin\ \beta}{sin\ \beta\ sin\ {}^1/_2\gamma + f\ cos\ \beta} \tag{12}$$

und wenn die trigonometrischen Zahlwerthe eingesetzt werden:

$$(13) \qquad G \geqq w. \frac{0.1413 - 0.9234\,f}{0.3423 + 0.3817\,f}$$

Auch dieses Verhältniss zeigt, dass G verschwindet, wenn f gleich oder grösser als 0,153 wird, denn der negative Werth des Ausdruckes rechts bedeutet nur, dass der Widerstand der Reibung allein die Kraft $w \cos \beta$ überwiegt und also kein Gegengewicht nothwendig macht. Für Werthe von f unter 0.153 wird G um so grösser, je kleiner f wird. Für $f = 0.10$ hat man

$$(14) \qquad G \geqq 0.128\ w.$$

Aus den Gleichungen (10) und (12) findet man

$$(15) \qquad N = \frac{w}{2(\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma + f \cos \beta)} = \frac{w}{2(0.3423 + 0.3817\,f)}$$

Bei gleicher Kraft w wird N um so grösser, je kleiner f wird. Setzt man $f = 0{,}10$ so wird für diesen kleinsten Werth:

$$(16) \qquad N = \frac{w}{0.761} = 1.314\ w.$$

Nimmt man für den grössten zulässigen Druck auf die Leitschienen 5000 Kilogramm an, so folgt aus (16), dass die Kraft am Umfange des Spiralrades bei dem ungünstigsten Reibungscoefficienten von 0.10 nicht grösser werden darf als:

$$(17) \qquad w = 0.761 \times 5000 = 3805 \text{ Kilogramm.}$$

Setzt man in (15), $N = 5000$, so ergibt sich die Kraft w, welche bei diesem constanten Drucke auf die Leitschienen bei verschiedenen Adhäsionsverhältnissen stattfinden kann, aus der Gleichung:

$$(18) \qquad w = 10000\,\{\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma + f \cos \beta\} = 10000\,(0.3423 + 0.3817\,f)$$

Die durch das Spiralrad zu vermittelnde Kraft kann also grösser werden, wenn die Reibung zunimmt, ohne einen grössern Druck auf die Schienen auszuüben. Aus der letzten Gleichung ergeben sich für den constanten Druck von 5000 Kilogr. folgende Verhältnisse zwischen f und w:

$$(19) \qquad \begin{cases} f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ w = 4377 & 4186 & 3995 & 3805 \end{cases}$$

Obschon also die Wirksamkeit des Spiralrades unter normalen Verhältnissen mit der Verminderung der Adhäsion abnimmt, so geschieht

diess doch nicht in dem Maasse wie bei gewöhnlichen Rädern, deren Leistungsfähigkeit im proportionalen Verhältniss zur Reibung steht. Während z. B. die Wirksamkeit des Spiralrades für die Adhäsion von $^1/_4$ bis $^1/_{10}$ sich nur um 13 Prozent vermindert, nimmt die Wirkung der gewöhnlichen Räder um 60 Prozent ab.

Lässt man durch das Spiralrad unter keinen Adhäsionsverhältnissen eine grössere Kraft vermitteln, als dem kleinsten Coefficienten von 0.10 entspricht, nämlich 3805 Kilogr., so folgt aus (15):

$$N = \frac{3805}{2(\sin\beta \sin {}^1/_2\gamma + f\cos\beta)} = \frac{3805}{2(0.3423 + 0.3817\,f)} \qquad (20)$$

hieraus ergibt sich:

für	$f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
	$N =$	4347	4544	4761	5000

(21)

Aus (12) und (18) folgt zur Bestimmung von G

$$G \geqq 10000\,(\cos\beta \sin {}^1/_2\gamma - f\sin\beta)$$

oder:

$$G \geqq 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f) \qquad (22)$$

und für $f = 0.10$ findet man

$$G \geqq 489 \text{ Kilogr.} \qquad (23)$$

Es genügt demnach das kleine Gewicht von 489 Kilogr., um im ungünstigsten Falle ein Entgleisen zu verhindern.

Bei der vorausgesetzten Uebereinstimmung mit den Leitschienen kann nach Obigem das Spiralrad unter allen Reibungsverhältnissen eine Kraft von 3805 Kilogr. vermitteln, ohne einen grössern Druck als 5000 Kilogr. auszuüben und ohne dass ein Ausgleiten zu befürchten ist.

Durch das Zusammenwirken des Spiralrades mit gewöhnlichen Treibrädern gestaltet sich das Verhältniss des Druckes auf die innern Schienen bedeutend günstiger, als wenn das erstere allein in Thätigkeit ist, indem die Wirksamkeit der letztern mit zunehmender Reibung wächst und dadurch das Spiralrad mehr entlastet. Dabei ist zu unterscheiden, ob das Spiralrad so mit gewöhnlichen Treibrädern zusammenwirke, dass der Druck derselben auf die äussern Schienen durch den Theil G des Gewichtes der Maschine, der auf die Leitschienen fällt, nicht beeinflusst wird, oder in der Weise, dass sich das Adhäsionsgewicht in gleichem Maasse vermindert. Den erstern Fall vorausgesetzt, ist in der Gleichung (3) die Grösse P gleich

dem ganzen Gewichte der gewöhnlichen Treibräder mit der daraufliegenden Last, das in der Folge mit L bezeichnet wird. Steht nur ein Räderpaar mit dem Spiralrade in Verbindung und setzt man das entsprechende Gewicht zu 10000 Kilogr. oder zu 5000 Kilogr. per Rad an, so erhält die Gleichung (3) die Form:

$$W = 10000\,f + w \tag{24}$$

Mit Hülfe der Gleichung (18) findet man:

$$W = 10000\,(0.3423 + 1.3817\,f) \tag{25}$$

woraus folgt:

(26)

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$W =$	6877	6186	5495	4805

Ueberträgt man dieser Combination unter allen Verhältnissen nur die Kraft von 4805 Kilogr. und setzt diesen Werth in (24), so hat man für die Wirkung des Spiralrades:

$$w = 4805 - 10000\,f \tag{27}$$

Substituirt man in (15) w durch diesen Ausdruck, so ergibt sich als Druck auf die Leitschienen:

$$N = \frac{4805 - 10000\,f}{2(0.3423 + 0.3817\,f)} \tag{28}$$

oder:

(29)

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$N =$	2633	3354	4136	5000

Die Vergleichung dieser Ergebnisse mit denjenigen in (21) bestätigt, wie angedeutet wurde, dass durch die Mitwirkung eines gewöhnlichen Räderpaares, wodurch die Kraft im Minimum um 1000 Kilogr. vermehrt wird, bei einer Adhäsion über $^1/_{10}$ die Leitschienen viel weniger in Anspruch genommen werden, als durch das Spiralrad allein. Der Druck vermindert sich noch mehr, wenn zwei Räderpaare mit doppeltem Gewichte zu Hülfe gezogen werden. Unter dieser Annahme geht die Gleichung (3) über in:

$$W = 20000\,f + w \tag{30}$$

oder in Folge von (18) in:

$$W = 10000\,(0.3423 + 2.3817\,f) \tag{31}$$

Hieraus folgt:

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 9377 & 8186 & 6995 & 5805 \end{array}\right\} \quad (32)$$

Setzt man den Minimalwerth von 5805 in (30), so hat man:

$$w = 5805 - 20000\,f \quad (33)$$

Mit Zuziehung von (15) ergibt sich:

$$N = \frac{5805 - 10000f}{2(0.3423 + 0.3817f)} \quad (34)$$

und

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 920 & 2156 & 3510 & 5000 \end{array}\right\} \quad (35)$$

Setzt man die zweite Art des Zusammenhanges des Spiralrades mit den andern Treibrädern voraus, bei welcher das auf die Leitschienen fallende Gewicht G auf das wirksame Adhäsionsgewicht influirt, so ist in (3) anstatt P das Gewicht $L-G$ zu setzen, wodurch jene Gleichung die Form annimmt:

$$W = (L - G)f + w \quad (36)$$

Ist $L = 10000$ und ersetzt man G durch (22), so hat man:

$$W = \{10000 \,\overline{\circ}\, 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)\}\,f + w. \quad (37)$$

Das Zeichen $\overline{\circ}$ bedeutet, dass nur positive Werthe von $0.1413 - 0.9243\,f$ gültig sind, weil für negative Werthe G verschwindet.

Mit Zuziehung von (18) findet man aus (37)

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 6877 & 6196 & 5490 & 4756 \end{array}\right\} \quad (38)$$

Bei schwacher Reibung wird ein Theil des Gewichtes von den äussern auf die innern Schienen übertragen, und es reducirt sich dadurch die Gesammtwirkung etwas; diese Reduction beträgt aber in obigem Falle höchstens ein Prozent.

Setzt man den kleinsten Werth von W aus (38) in (37), so folgt:

$$w = 4756 - \{10000 \,\overline{\circ}\, 10000(0.1413 - 0.9243f)\}\,f \quad (39)$$

Hieraus und vermittelst (15) findet man:

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 2577 & 3292 & 4080 & 5000 \end{array}\right\} \quad (40)$$

Werden zwei äussere Räderpaare zu Hülfe gezogen und für L 2000 Kilogr. angenommen, so erhält man analog mit (37):

$$W = \{20000 \overline{\circ} 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)\}\,f + w \tag{41}$$

und

(42)

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$W =$	9377	8186	6990	5756

Bestimmt man w aus (41) unter Substituirung von W durch den kleinsten Werth aus (42) und setzt das Ergebniss in (15), so erhält man:

(43)

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$N =$	864	2089	3454	5000

Die Werthe von W in (32) und (42) zeigen, dass zwei Treibachsen von 20 Tonnen Gewicht in Verbindung mit einem Spiralrade je nach der Adhäsion von 0.10 bis 0.25 eine Kraft von 5756, respective 5805 bis 9377 Kilogr. vermitteln können, und dass bei der Minimalleistung von 5786 Kilogr., welche die Minimalleistung der gewöhnlichen Treibräder allein um mehr als das $2^1/_2$fache übersteigt, der Druck auf die Leitschienen nur ausnahmsweise mehr als 2 bis 3.5 Tonnen beträgt. *Die Leistung der äussern Räder wird also wenigstens in der Art ergänzt, wie wenn die Reibung auf 0.287 constant erhalten werden könnte.*

Obige Resultate stützen sich auf die Voraussetzung, dass die Lage der Leitschienen mit den Tangenten an den Spiralfelgen übereinstimmen. In der Wirklichkeit ist aber nicht darauf zu rechnen, dass keinerlei Abweichungen von den normalen Verhältnissen vorkommen; es sind vielmehr, wie bei jedem Mechanismus, Fehler innerhalb gewisser Grenzen vorauszusetzen und die Einflüsse derselben zu prüfen.

Wirksamkeit des Spiralrades, wenn der Winkel der Tangenten an den Berührungspunkten grösser ist, als der Winkel der Leitschienen.

Es sei $a' t a'$ der fehlerhafte Winkel der Tangenten am Rade im Grundriss. Bei der Bewegung gegen S wird das Rad ohne einen besondern Einfluss nicht die zur Bahnebene parallele Linie aS im Aufriss befolgen, sondern die steigende Richtung at', welche dem Winkel der Tangenten entspricht. Das Spiralrad würde also nach einer gewissen Strecke über die Leitschienen hinausrollen. Damit diess nicht geschehen kann, muss der Druck von oben durch das Gewicht so gross sein, dass

das Rad bei der fortschreitenden Bewegung in gleichem Maasse der steigenden Tendenz parallel der Durchschnittskante SC an den Schienen hinuntergleitet. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn

$$G \sin \beta > 2 Nf + w \cos (\beta + \omega) \tag{44}$$

worin ω den Winkel der Tangenten mit der Bahnebene bezeichnet. Der Druck N auf die Leitschienen wird bestimmt durch

$$N = \frac{w. \sin (\beta + \omega)}{2. \sin {}^1/_2\gamma} + \frac{G \cos \beta}{2. \sin {}^1/_2\gamma} \tag{45}$$

Aus diesen beiden Beziehungen folgt:

$$G > w. \frac{\cos (\beta + \omega) \, im \, {}^1/_2\gamma - f \sin (\beta + \omega)}{\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma - f \cos \beta} \tag{46}$$

Der Winkel ω wird gegenüber β jedenfalls sehr klein sein; man kann daher ohne merkbare Veränderung der Folgen anstatt (45) und (46) schreiben:

$$N = \frac{w. \sin \beta}{2 \sin {}^1/_2\gamma} + \frac{G \cos \beta}{2 \sin {}^1/_2\gamma} \tag{47}$$

und

$$G > w. \frac{\cos \beta \sin {}^1/_2\gamma + f \sin \beta}{\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma - f \cos \beta} \text{ oder } > w. \frac{0.1413 + 0.9243 f}{0.3423 - 0.3817 f} \tag{48}$$

Da G nur wenig grösser zu sein braucht als der Ausdruck rechts, so kann man diesen anstatt G in (47) einführen und erhält dadurch:

$$N = \frac{w}{2(\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma - f \cos \beta)} = \frac{w}{2(0.3423 - 0.3817 f)} \tag{49}$$

Wird wieder als grösster Druck $N = 5000$ Kilogr. angenommen, so folgt aus der letzten Gleichung:

$$\left.\begin{aligned} w &= 10000 \{\sin \beta \sin {}^1/_2\gamma - f \cos \beta\} \\ &= 10000 (0.3423 - 0.3817 f) \end{aligned}\right\} \tag{50}$$

und für die verschiedenen Werthe von

$$\left.\begin{aligned} f &= 0.25 \quad 0.20 \quad 0.15 \quad 0.10 \\ w &= 2469 \quad 2660 \quad 2881 \quad 3041 \end{aligned}\right\} \tag{51}$$

Die Kraft, welche das Spiralrad bei einem Drucke von 5000 Kilogr. auf die Leitschienen zu vermitteln vermag, wird nach diesen Ergebnissen

gegenüber denjenigen in (19) durch den vorausgesetzten Fehler namentlich bei grossen Reibungscoefficienten geschwächt. Während unter normalen Verhältnissen die grösste Wirkung mit der grössten Reibung zusammenfällt, findet hier das Umgekehrte statt. Bei der Mitwirkung gewöhnlicher Räder kommt aber vermöge der grössern Entlastung durch grössere Adhäsion nur das Maximum von 3041 Kilogr. in Betracht, welcher Umstand den schädlichen Einfluss dieses Fehlers grösstentheils aufhebt.

Die Untersuchung der gemeinsamen Leistung der verschiedenen Räderarten erfordert wieder zwei Unterscheidungen; angenommen

1. Das Spiralrad habe keinen Einfluss auf den Druck der äussern Treibräder.

Ist $P = L = 10000$ Kilogr., so besteht zwischen W und w die Gleichung (24). Ersetzt man in derselben w durch (50), so hat man:

$$(52) \quad \begin{cases} W = 10000\{\sin\beta \sin {}^1/_2\gamma + (1 - \cos\beta) f\} \\ \quad = 10000\,(0.3423 + 0.6183 f) \end{cases}$$

und

$$(52') \quad \begin{cases} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 5969 & 4660 & 4350 & 4041 \end{cases}$$

Setzt man in (24) für W den kleinsten Werth aus (52'), so folgt:

$$(53) \quad w = (4041 - 10000 f)$$

und

$$(54) \quad \begin{cases} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ w = & 1541 & 2041 & 2541 & 3031 \end{cases}$$

welches Ergebniss beweist, dass in (51) nur der grösste Werth maassgebend ist, indem bei gemeinsamer Wirkung beider Treibaxen für die Kraft von 4041 Kilogr. das Spiralrad bei grösserer Reibung als $^1/_{10}$ nie auf den erlaubten Grad in Mitleidenschaft kommt. Diess geht auch aus dem Drucke hervor, den die Leitschienen auszuhalten haben. Aus (53) und (49) folgt nämlich:

$$(55) \quad N = \frac{2020 - 5000 f}{0.3423 - 0.3817 f}$$

und

$$(56) \quad \begin{cases} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 3116 & 3833 & 4354 & 5000 \end{cases}$$

Für den Theil G des Gewichtes, welcher durch die Aktion des Spiralrades auf die Leitschienen fällt, erhält man aus (48) und (53) das Verhältniss:

$$G > (4041 - 10000f)\,\frac{0.1413 + 0.9243f}{0.3423 - 0.3817f} \tag{57}$$

und für	$f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
	$G >$	2324	2510	2494	2337

(58)

Es findet demnach für G innerhalb der angenommenen Grenzen für f ein Maximum statt. Differenzirt man den Ausdruck rechts in (57) nach f, so ergibt sich die Bedingungsgleichung:

$$1012.7 - 6327{,}7f + 3527.3\,f^2 = 0$$

woraus folgt:

$$f = 0.1776$$

für welchen Werth G ein Maximum wird. Es ist daher im ungünstigsten Falle:

$$G > 2520 \text{ Kilogr.} \tag{59}$$

Wenn also das Spiralrad nur mit einer Axe von 10000 Kilogr. Belastung zusammenhängt, so ergibt sich bei dem vorausgesetzten Fehler noch eine vierfache Sicherheit gegen ein Ausgleiten.

Bei dem Zusammenhange mit zwei gewöhnlichen Treibaxen mit doppelter Belastung wird die zu (52) analoge Gleichung:

$$W = 10000\,(0.3423 + 1.6183\,f) \tag{60}$$

und hieraus erhält man:

für	$f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
	$W =$	7469	6660	5850	5041

(61)

Den Minimalwerth als grösste Leistung vorausgesetzt, findet man mit Hülfe von (30) für die Inanspruchnahme des Spiralrades:

$$w = 5041 - 20000\,f \tag{62}$$

und mit Beachtung von (49) wird der Druck auf die Leitschienen:

$$N = \frac{2520 - 10000f}{0.3423 - 0.3817f} \tag{63}$$

und für	$f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
	$N =$	80	1955	3553	5000

(64)

Die Beziehungen (48) und (62) ergeben ferner:

$$(65) \qquad G > (5041 - 20000\,f)\,\frac{0.1413 + 0.9243f}{0.3423 - 0.3423f}$$

und

$$(66) \qquad \begin{cases} \text{für } f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ G = \;\; 61 & 1276 & 1990 & 2337 \end{cases}$$

Befindet sich das Spiralrad in der Mitte zweier Axen von 20 Tonnen Belastung, so bleibt demnach das Uebergewicht gegen G sehr gross und beträgt selbst im ungünstigsten Falle mehr als das achtfache.

2. Das Spiralrad habe Einfluss auf den Druck der äussern Treibräder.

In diesem Falle ist $P = L - G$ und es besteht daher zwischen W und w die Gleichung (36). Ersetzt man in derselben G durch den entsprechenden Werth aus (48), so findet man bei der Mitwirkung von einer gewöhnlichen Treibaxe mit 10000 Kilogr. Belastung:

$$(67) \qquad W = 10000f + w\left\{1 - \frac{0.1413 + 0.9243f}{0.3423 - 0.3817f}f\right\}$$

Mit Zuziehung von (50) ergibt sich:

$$(68) \qquad W = 10000 + 10000\,(0.3423 - 0.3817f)\left(1 - \frac{0.1413 + 0.9243f}{0.3423 - 0.3817f}f\right)$$

und

$$(69) \qquad \begin{cases} \text{für } f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = 4038 & 4007 & 3951 & 3807 \end{cases}$$

Wenn die gesammte Leistung W das Minimum von 3807 Kilogr. nicht übersteigt so folgt aus (67):

$$(70) \qquad w = \frac{3807 - 10000f}{1 - \frac{0.1413 + 0.9243f}{0.3423 - 0.3817f}f}$$

und nach (49):

$$(71) \qquad N = \frac{1903.5 - 5000f}{0.3423 - 0.3817f - (0.1413 + 0.9243f)f}$$

und hieraus

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 4250 & 4500 & 4706 & 5000 \end{array}\right\} \quad (72)$$

Diese Ergebnisse in (69) und 72 zeigen im Vergleiche mit (52) und (56), dass die zu Grunde liegende Annahme die Wirkung der beiden Räder schwächt, und der Druck N im Allgemeinen zunimmt. Aus (48) und (70) folgt ferner:

$$G > \frac{3808 - 10000\,f}{\frac{0.3423 - 0.3817\,f}{0.1413 + 0.9243\,f} - f} \quad (73)$$

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{oder für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ G > & 3165 & 2940 & 2634 & 2336 \end{array}\right\} \quad (74)$$

Es wächst mithin bei dieser Anordnung auch das Gewicht, welches gegen das Ausgleiten in Frage kommt. Immerhin gewährt selbst dieses Verhältniss mehr als dreifache Sicherheit. Das Maximum für G würde in diesem Falle bei $f = 0.31$ eintreten und betrüge 3320 Kilogr.

Es gestalten sich jedoch die Werthe von N und G günstiger, wenn vier äussere Räder das Spiralrad unterstützen. In diesem Falle hat man:

$$W = 20000\,f + w\left\{1 - \frac{0.1413 + 0.9243\,f}{0.3423 - 0.3817\,f}\,f\right\} \quad (75)$$

oder:

$$W = 20000\,f + 10000\,(0.3423 - 0.3817\,f)\left\{1 - \frac{0.1413 + 0.9243\,f}{0.3423 - 0.3817\,f}\,f\right\} \quad (76)$$

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{und für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 6538 & 6007 & 5451 & 4807 \end{array}\right\} \quad (77)$$

Für das Minimum der Leistung W folgt aus (75)

$$w = \frac{4807 - 20000\,f}{1 - \frac{0.1413 + 0.9243\,f}{0.3423 - 0.3817\,f}\,f} \quad (78)$$

und aus (49):

$$N = \frac{2403.5 - 10000\,f}{0.3423 - 0.3817\,f - (0.1413 + 0.9243\,f)\,f} \quad (79)$$

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{oder für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 0 & 2009 & 3850 & 5000 \end{array}\right\} \quad (80)$$

Für $f = 0.25$ würde N negativ ausfallen, was beweist, dass bei diesem Coeffizienten die Leitschienen gar nicht in Anspruch genommen werden.

Vermöge (48) und (78) hat man:

$$(81) \qquad G > \frac{4807 - 20000\,f}{\frac{0.3423 - 0.3817f}{0.1413 + 0.9243f}} - f$$

(82)

und für	$f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
	$G >$	0	1311	2057	2336

Bei dieser Combination nähert sich die Inanspruchnahme der Spiralfelgen und Leitschienen derjenigen in (43) für fehlerfreie Zustände. *Das Gewicht G, welches genügt, dem Entgleisen entgegen zu wirken, erreicht unter den ungünstigsten Verhältnissen, auch in diesem Falle, nicht* $^1/_8$ *des Gewichtes der mit dem Spiralrade in Verbindung stehenden Last und gewährt demnach vollständige Sicherheit.* Die Gesammtwirkung mit den zwei Räderpaaren wird allerdings durch den vorausgesetzten Fehler von 5756 auf 4807 Kilogr. reducirt; aber diese Kraft ist gegenüber den 2000 Kilogr., welche die vier gewöhnlichen Räder bei gleichem Zustande der Schienen allein zu vermitteln vermögen, noch sehr bedeutend. — *Die durch das Spiralrad ergänzte Leistung entspricht immer noch wenigstens einem Reibungscoeffizienten von 0.24.*

Wirksamkeit des Spiralrades, wenn der Winkel der Tangenten an den Berührungspunkten kleiner ist, als der Winkel der Leitschienen.

Es sei $a'\,u\,a'$ der fehlerhafte, zu kleine Winkel der Tangentenlinien am Rade und $a\,u'$ die Richtung dieser Linien im Aufriss. Bewegt sich das Rad an den äusseren Seiten der Schienen gegen S, so hat dasselbe in diesem Falle die Tendenz, $a\,u'$ zu folgen, also unter die Bahnebene $a\,S$ zu gehen, und zwar mit einer Kraft $2\,Nf$. Je nachdem nun die Kraft $w\,cos\,\beta$, welche parallel zu $S\,C$ aufwärts wirkt, grösser oder kleiner als $2\,Nf$ ist, muss die Differenz durch ein Gewicht G oder durch eine entgegengesetzte Kraft $-G$ aufgehoben werden. In der Gleichung:

$$w\,cos\,\beta - 2\,Nf = G\,sin\,\beta$$

welche der Beziehung (11) entspricht, kann also G positiv und negativ werden. Die negative Kraft entlastet die Leitschienen theilweise und äussert sich durch den Zusammenhang des Spiralrades mit den anderen Rädern als Druck auf die äusseren Schienen; sie vermehrt die Wirkung,

indem für den gleichen Maximaldruck N sowohl w als die Adhäsion der äusseren Treibräder dadurch grösser wird, und steht zugleich dem Entgleisen entgegen.

Der Druck N auf die Leitschienen wird wieder durch die Gleichung (10) ausgedrückt, worin aber G negativ wie positiv sein kann. Mit dieser Erweiterung der Werthe von G gelten daher bei der vorausgesetzten Abweichung die für normale Verhältnisse aufgestellten Beziehungen.

Aus (22) folgt unter dieser Annahme:

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ G = & -898 & -434 & +25 & +489 \end{array}\right\} \qquad (83)$$

Bei einer Reibung von 0.25 und einem Drucke von 5000 Kilogr. auf die Leitschienen wird demnach das Spiralrad mit einer Kraft von 898 Kilogr. gegen die Bahnebene gezogen, wodurch die gekuppelten Räder auf die äusseren Schienen gepresst, und die Adhäsion und die Leistungsfähigkeit verhältnissmässig vermehrt werden.

Aus (37) und (18) folgt nämlich unter Berücksichtigung des negativen Werthes von G oder des Faktors $(0.1413 - 0.9243\,f)$

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 7101 & 6273 & 5490 & 4756 \end{array}\right\} \qquad (84)$$

welches Ergebniss gegenüber (38) obige Aussage in Beziehung auf die Totalwirkung bestätigt.

Für die Annahme einer Maximalleistung von 4756 Kilogr. findet man aus (39) und (13):

$$G = \{4756 - [10000 - 10000\,(0.1413 - 0.9234\,f)]\}\frac{0.1413 - 0.9243\,f}{0.3423 + 0.3817\,f} \qquad (85)$$

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{und für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ G = & -416 & -278 & 22 & 489 \end{array}\right\} \qquad (86)$$

Eerner ergibt sich aus (39) und (15):

$$N = \frac{4756 - [10000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)]\,f}{2\,(0.3423 + 0.3817\,f)} \qquad (87)$$

und hieraus anstatt (40):

$$\left.\begin{array}{rcccc} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 2321 & 3188 & 4080 & 5000 \end{array}\right\} \qquad (88)$$

welche Werthe beweisen, dass bei starker Reibung auch der Druck auf die inneren Schienen abnimmt.

Unter der Mithülfe zweier äusseren Räderpaare findet man anstatt (42)

(89)
$$\begin{cases} \text{wenn } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ W = & 9601 & 8273 & 6990 & 5756 \end{cases}$$

Bei der Leistung von 5756 Kilogr. wird

(90)
$$N = \frac{5756 - [20000 - 10000(0.1413 - 0.9243f)]f}{2(0.3423 + 0.3817f)}$$

woraus anstatt (43) folgt:

(91)
$$\begin{cases} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 610 & 1994 & 3454 & 5000 \end{cases}$$

Ferner findet man bei dieser Combination

(92)
$$G = \{5756 - [20000 - 10000(0.1413 - 0.9243f)]\}\frac{0.1413 - 0.9243f}{0.3423 + 0.3817f}$$

und hieraus

(93)
$$\begin{cases} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ G = & -119 & -174 & 18 & 489 \end{cases}$$

Obschon diese Resultate von denjenigen unter normalen Verhältnissen nicht viel abweichen, so zeigen sie immerhin, *dass ein Fehler im vorausgesetzten Sinne, anstatt einen schädlichen Einfluss auszuüben, die Leitungsfähigkeit und Sicherheit gegen das Entgleisen unter gewissen Umständen begünstigt.*

Der Einfluss der Abweichungen der Tangentenlinien von den Schienenkanten bleibt sich gleich, das Spiralrad mag auf der äusseren oder inneren Seite der Schienen wirken, so lange ein Widerstand gegen die Bewegung der Locomotive zu überwinden ist; soll aber ein solches Rad dazu dienen, eine beschleunigende Kraft oder eine gewisse Geschwindigkeit aufzuheben, d. h. soll mit demselben gebremst werden, so äussern sich die beiden Fehler in entgegengesetzter Weise, indem ein zu grosser Winkel der Tangentenlinien vortheilhaft und ein zu kleiner nachtheilig wirkt, was aus der entgegengesetzten Neigung der Seitenflächen der Felgen leicht zu folgern ist.

Während des Steigens auf einer Rampe haben die Treibräder ausser der Schwere die Widerstände des Trains wie auf horizontaler Bahn zu überwinden; während des Hinunterfahrens heben aber die letztern Widerstände einen Theil der Schwerkraft auf und es haben folglich zur Herstellung des vollständigen Gleichgewichtes die Treibräder, wenn durch dieselben gebremst wird, eine geringere Kraft auszuhalten als beim Aufwärtsfahren. Eine fehlerhafte Abweichung des Spiralrades von den Mittelschienen macht sich daher bei dieser Funktion in Beziehung auf die Tendenz des Ausgleitens noch weniger fühlbar. Immerhin trägt es sowohl zur Sicherheit als zu einer vortheilhaften Kraftäusserung bei, wenn der schädliche Fehler vermieden werden kann.

Vermeidung des schädlichen Fehlers.

Eine gegenseitige Abweichung der Leitschienen und der Tangenten an den Radfelgen kann entweder daher rühren, dass die Schienen, sei es in Folge mangelhafter Anlage, sei es durch den Einfluss des auszuhaltenden Druckes, von der normalen Lage abweichen, oder, dass der Abstand der mittleren Berührungsstelle von der Axe des Rades ein unrichtiger ist. Der Winkel der Schienen ist durch solide Querverbindungen, welche zugleich den gegenseitigen Abstand der aufeinanderfolgenden Schienenpaare fixiren, möglichst sicher zu stellen. Es sei aber vorausgesetzt, dass dennoch Fehler vorkommen und dass die Grenzen derselben 2.5^{mm} auf 1.6^{m} Länge senkrecht zur Bahn in jedem Sinne betragen. Diess entspricht einem Spielraume von 5^{mm} für die einzelne Schiene und von einem Centimeter für beide Schienen, welcher Fehler bei solider Construction jedenfalls als ein ausnahmsweiser angesehen werden kann. Da die Tangente des normalen Winkels φ zu 0.3687 angenommen wurde, so wird demnach für dieselbe eine mögliche Veränderung zwischen 0.3672 und 0.3703 vorausgesetzt. Zwischen dem Radius r der berührenden Spirale und dem Tangentenwinkel φ findet die Beziehung statt:

$$tang\ \varphi = \frac{0.59}{r.\pi} = \frac{0.1878}{r} \qquad (94)$$

Soll nun vermieden werden, dass der Tangentenwinkel grösser ausfällt, als der kleinste Winkel der Schienen, so muss

$$r > \frac{0.1878}{0.3672} \text{ oder } > 0.5114^{m} \qquad (95)$$

angenommen werden.

Der normale Radius beträgt 0.5093^{m}, mithin die Differenz 0.0021^{m}. Um in allen Fällen die Spirale vortheilhaft zur Ausübung der Zugkraft zu verwenden, genügt demnach eine Vergrösserung des normalen Radius um 2.5^{mm}. Soll aber mit dem Spiralrade gebremst werden, so ist zur Erzielung des günstigsten Effects der Radius um ebensoviel kleiner zu machen. Der Wechsel dieses Abstandes des Berührungspunktes von der Axe des Rades, oder ein für die verschiedenen Funktionen günstiges Verhältniss der beiden Winkel überhaupt lässt sich auf mehrfache Weise bewerkstelligen.

1. Denkt man sich eine Bahn, die von einem Orte *A* zu einem andern *B* steigt und fällt, so werden bei einer Fahrt von *A* nach *B*, je nachdem die Leitschienen in derselben Richtung convergiren oder divergiren, auf den ansteigenden Strecken die äussern oder die innern Kanten berührt; bei den fallenden Strecken findet aber das Umgekehrte statt. Gibt man den beiden Schienenkanten eine ungleiche Höhe, indem man die eine um 2.5^{mm} unter, die andere um 2.5^{mm} über das richtige Niveau legt, so kann sowohl beim Steigen wie beim Fallen, beim Ziehen wie beim Bremsen die schädliche Abweichung der verschiedenen Winkel vermieden werden. Geschieht dies für eine Fahrt von *A* nach *B*, so tritt jedoch für die Rückfahrt von *B* nach *A* das ungünstige Verhältniss ein. Hat man aber eine zweispurige Bahn, so wird in der Regel ein Geleise nur in einer bestimmten Richtung benutzt. Trifft man bei den zwei Geleisen eine entgegengesetzte Anordnung bezüglich der Höhenlage der Schienenkanten oder der Richtung der Convergenz oder Divergenz der Schienen, so können beide Wege in vortheilhafter Weise befahren werden.

2. Das gleiche Resultat kann man mit Hülfe zweier Geleise erzielen, wenn man bei gleicher Höhe der äusseren und inneren Schienenkanten die Radfelgen der Länge nach in der Art konisch macht, dass die eine Seitenfläche in der normalen Entfernung von der Axe der Tangente von 0.3670 und die andere der Tangente von 0.3705 entspricht.

3. Die Lager des Spiralrades können verstellbar gemacht und durch eine geeignete Vorrichtung nach Erforderniss etwas gehoben oder gesenkt werden. Durch dieses Mittel lässt sich beim Vor- oder Rückwärtsfahren auf dem gleichen Geleise die nachtheilige Stellung vermeiden.

Bei diesen drei Verfahrungsarten wird angenommen, der Train werde durch die Maschine gebremst. Bekanntlich ist durch die Einrichtungen von Le Chatelier & Ricour die Anwendung des Gegendampfes als praktisch gelöst zu betrachten, wenn man von der grösseren Abnutzung der Treib-

räder absieht. Durch Vermittelung des Spiralrades wird aber die gleitende Bewegung derselben unmöglich gemacht, was den Erfolg der Anwendung des Dampfes zu diesem Zwecke nicht wenig erhöhen wird.

4. Bringt man ein besonderes Spiralrad, das von Hand gebremst werden kann, an einem Wagen an, so können die beiden Räder an der Maschine und am Wagen den verschiedenen Funktionen entsprechend eingerichtet werden. Stellt man einen solchen Bremswagen an das Ende des Trains, so vermeidet man damit beim Abwärtsfahren die Gefahr, dass vordere leichtere Wagen durch nachfolgende schwerere aus den Schienen gedrückt werden. Auf starken Steigungen mag diess Verfahren vorzuziehen sein, wenn es nicht durch eine zweite Maschine am Ende des Zuges überflüssig gemacht wird.

Combination der beiden Arten von Treibrädern.

Um die Höhenlage der Spiralräder von den vertikalen Schwankungen des Hauptrahmens der Maschine unabhängig zu machen, sind dieselben mit den Lagern der andern Räder, seien es Treibräder oder Laufräder, in feste Verbindung zu bringen. Diess würde am einfachsten dadurch geschehen, dass man einem Spiralrade und einem gewöhnlichen Rade eine gemeinschaftliche Axe gäbe. Diese Combination hat aber die anderweitigen Nachtheile, dass die Höhenlage des Spiralrades nicht willkürlich verändert werden kann und dass in Folge des Uebereinandergreifens der Spiralfelgen und Leitschienen der Abstand des Berührungspunktes von der Axe kleiner wird, als der Radius der äusseren Räder, wenn die Maschine über Bahnkreuzungen gehen soll und der Umfang der Spirale daher nicht unter die äusseren Schienen reichen darf. Die Verschiedenheit der Radien erzeugt ein theilweises Gleiten, das möglichst zu vermeiden ist. Reicht der Umfang der Spirale, wie es bei richtigen Verhältnissen stattfindet, unter die Hauptschienen hinab, so ist vor den Ausweichgeleisen in Stationen ein Geleiswechsel für die Maschine nothwendig, welcher nur durch Drehscheiben oder Schiebbühnen zu bewerkstelligen ist und also die Anwendung ausnahmsweiser Einrichtungen erfordert.

Eine unbeschränktere Combination erhält man durch die Absonderung der verschiedenen Räder. Wird z. B. ein Spiralrad zwischen zwei gewöhnliche Räder gelegt, indem man alle drei Axenlager durch zwei mit dem Hauptrahmen vermittelst der Tragfedern zusammenhängende Balken verbindet, so ist nicht nothwendig, dass die drei Axen in einer geraden

Linie liegen, die mittlere kann ungeachtet der Kuppelung verstellbar gemacht und höher oder tiefer als die andern gelegt werden. Diese Anordnung gestattet einen grösseren Umfang des Spiralrades, indem die Leitschienen entsprechend über die Hauptschienen erhöht, oder das Rad beim Einlaufen in Stationen gehoben werden kann. Die Verstellbarkeit macht ferner das Spiralrad von der Abnutzung der Bandagen der gekuppelten Räder unabhängig. Die Veränderung des Durchmessers derselben bleibt zwar nicht ohne nachtheiligen Einfluss, indem nur durch die Uebereinstimmung der Peripherie mit der doppelten gegenseitigen Entfernung der Leitschienen ein theilweises Gleiten auf den äussern Schienen vermieden wird. Uebersteigt aber die Differenz gewisse Grenzen nicht, so ist der daraus entspringende Kraftverlust, sowie die entsprechende Abnutzung, wie in der Folge näher gezeigt wird, von geringer Bedeutung. Die gleitende Bewegung bleibt hierbei auf ein bestimmtes von der Kraftäusserung unabhängiges Maass beschränkt und nimmt alle Stellen der Bandagen gleichmässig in Anspruch, während dieselbe bei dem gewöhnlichen System mit der Kraft, welche durch die Räder vermittelt wird, wächst, und bei Annäherung dieser Kraft an den veränderlichen Adhäsionswiderstand unregelmässig erfolgen kann.

Die Wirksamkeit beider Räderarten wird ganz unabhängig von einander gemacht, wenn man jede Art durch besondere Cylinder bedient. Der Umfang der gewöhnlichen Treibräder steht alsdann in keiner Beziehung zu den inneren Schienen und die Veränderung desselben durch Abnutzung übt keinen nachtheiligen Einfluss aus.

Der Unterbruch der Leitschienen in Stationen oder auf andern schwach geneigten Strecken macht es nothwendig, dass den Spiralrädern beim Einlaufen in diese Schienen eine solche Stellung gegeben werden könne, bei welcher kein Aufschlagen der Felgen erfolgen kann. Diess wird dadurch erleichtert, dass für die Stellung dieser Räder ein weiter Spielraum zwischen den aufeinanderfolgenden Schienen vorhanden und nur der verhältnissmässig kleine Raum, den die Schienen selbst einnehmen, auszuweichen ist. Bei der Kuppelung der verschiedenen Treibräder kann die Regulirung durch eine selbstwirkende Einrichtung geschehen, durch welche bei fehlerhafter Stellung eine Aenderung des Verhältnisses der Drehung zur fortschreitenden Bewegung bis zur richtigen relativen Lage zu den Schienen bewirkt wird. Werden die Spiralräder durch besondere Cylinder getrieben, so können sie in beliebiger Lage in Ruhe erhalten werden; ist die Stellung auf Strecken ohne Leitschienen der Art, dass die Felgen zwischen diese hineingehen können, so kann kein Aufschlagen stattfinden, und die Bewegung erfolgt, sowie sie mit den Schienen in Berührung kommen.

Widerstand, welchen die Spiralräder verursachen.

a. Widerstand unter normalen Verhältnissen.

Wenn die Spiralfelgen vollkommen mit den Leitschienen übereinstimmen und die Berührung nur an einem Punkte stattfindet, so rollt ein solches Rad längs derselben, wie ein gewöhnliches auf den äusseren Schienen, ohne zu gleiten, und der Widerstand beschränkt sich auf den Rollungswiderstand. Für die gewöhnlichen Locomotivräder nimmt man denselben zu $0.138\ V\,L$ Kilogr. an, wenn L das Gewicht der Locomotive in Tonnen und V die Geschwindigkeit in Kilometern per Stunde bezeichnet. Der analoge Widerstand eines Spiralrades, bei welchem der Druck $2\,N$ an die Stelle des Maschinengewichtes zu setzen ist, wird daher sein:

$$0.138\ V \times \frac{2N}{1000} \text{ oder } 0{,}000276\ VN \qquad (96)$$

b. Widerstand, welcher aus der gegenseitigen Abweichung der Winkel der Leitschienen und der Tangenten am Rade hervorgeht.

Weicht der Winkel der Leitschienen gegen die Bahnaxe um $\pm\,\omega$ von dem Winkel der Tangenten am Rade ab, so strebt das Rad, wie früher bemerkt wurde, diejenige Richtung längs der Schienen zu befolgen, welche dem Winkel $\varphi \pm \omega$ entspricht, also nach $a\,t'$ oder $a\,t''$ anstatt nach $a\,S$, und wird in Folge dessen gezwungen, während einer halben Umdrehung oder während der Weg von 1.6^{m} zurückgelegt wird, um die Länge $S\,t'$ oder $S\,t''$ an den Schienen zu gleiten. Diese Länge wird bestimmt durch:

$$\frac{1.6\sqrt{1 + sin^{2}\varphi\ tang^{2}\alpha}}{cos^{2}\varphi} \cdot \frac{tang\ \omega}{tang\ \varphi \pm tang\ \omega}$$

oder, da ω im Verhältniss zu φ sehr klein sein wird, durch

$$\frac{1.6\sqrt{1 + sin^{2}\varphi\ tang^{2}\alpha}}{cos\ \varphi\ sin\ \varphi} \cdot \omega = 12.912\ \omega$$

Die Grösse der gleitenden Bewegung für die Einheit des zurückgelegten Weges ist gleich $\frac{12.912}{1.6}\,\omega = 8.07\,\omega$, welcher Werth mit $2\,Nf$ multiplicirt den aus der Differenz der Winkel herrührenden Widerstand gibt, nämlich:

(97) $$16.14\ \omega\ .\ f\ .\ N$$

Es wurde früher der wahrscheinlich grösste Fehler der Schienenlage zu 2.5^{mm} auf 1.6^{m} Länge angenommen; es ist daher die Tangente des grössten Winkels der Schienen zur Bahnaxe

$$= \frac{0.59 + 0.0025}{1.6} = 0.3703$$

Damit der Winkel der Tangenten am Rade kleiner als der kleinste Winkel der Schienen ausfalle, um die normale Zugkraft nicht zu schwächen, wurde ferner der Abstand des Berührungspunktes von der Radaxe um 2.5^{mm} zu gross angenommen; man hat demnach als Tangente des kleinsten Winkels der Tangentenlinien

$$\frac{0.1878}{0.5093 + 0.0025} = 0.3669$$

Hieraus ergibt sich für das Maximum der Differenz beider Winkel:

$$tang\ \omega = \frac{0.3703 - 0.3669}{1 + 0.3703 \times 0.3669}$$

oder

(98) $$\omega = 0.003$$

Diesen Werth in (97) gesetzt, gibt als Maximum des bezüglichen Widerstandes:

(99) $$0.048\ f\ .\ N$$

c. Widerstand, welcher aus der Abnutzung der Leitschienen hervorgeht.

Bei gehöriger Abrundung der Seitenflächen der Schienen wird die Ausdehnung der mit den Radfelgen gebildeten Berührungsflächen in der Richtung der Radaxe sehr klein sein; die Abnutzung wird aber eine Ver-

flachung der Kanten und eine Vergrösserung jener Dimension zur Folge haben. Dadurch kommen Punkte der Felgen, welche verschiedenen Radien und verschiedenen Tangentenwinkeln entsprechen, in Wirksamkeit, und die von dem richtigen Radius entfernten Berührungspunkte müssen auf der Schienenfläche theilweise gleiten, und zwar in der Weise, dass sie während einer Umdrehung des Rades einen Kreis um den wahren Berührungspunkt beschreiben. Angenommen, die Grenzen der Abstände vom richtigen Mittel seien $+\frac{\delta}{2}$ und $-\frac{\delta}{2}$ oder die vertikale Dimension der Berührungsfläche sei δ und der Druck sei auf alle Theile gleich vertheilt, so ist die mittlere gleitende Bewegung während einer Umdrehung des Rades gleich $\frac{\delta}{2}\pi$ und der Effect durch die Reibung

$$\frac{\delta}{2}\,\pi \times 2\,Nf$$

folglich der Effekt für die Längeneinheit des Vorwärtsschreitens oder der Kraftverlust

$$\frac{\delta\,\pi\,Nf}{3.2} = 0.982\ \delta\,Nf \qquad (100)$$

Die Grösse δ hängt von der Form der Schienen ab; übersteigt sie 1.5 Centimeter nicht, so beträgt der Widerstand für die grösste Abnutzung:

$$0.0147\,Nf \qquad (101)$$

d. Widerstand, welchen die Kuppelung gewöhnlicher Treibräder mit einem Spiralrade verursacht.

Wenn der Umfang der äussern Treibräder mit der durch die gegenseitige Entfernung der Leitschienen in der Richtung der Bahnaxe bestimmten Länge übereinstimmt, so verursacht die Kuppelung mit einem Spiralrade keinen besonderen Widerstand. Weicht aber der Durchmesser der äusseren Räder von der richtigen Grösse um d ab, so müssen dieselben während einer Umdrehung um $d\,\pi$ auf den äusseren Schienen gleiten. Bezeichnet L das Gewicht, mit welchem die gekuppelten Räder auf die Schienen drücken, so ist der Effektverlust für eine Umdrehung

$$d\,\pi\,Lf$$

und für eine Einheit des zurückgelegten Weges

$$\frac{d\,\pi}{3.2}\,Lf = 0.982\,d\,Lf \qquad (102)$$

e. Widerstand durch Bahnkrümmungen.

Es sei R der Radius der Bahnaxe, a der mittlere Abstand der Leitschienen von derselben, so ist die Differenz der beiden Schienenlängen für die Längeneinheit $\frac{2a}{R}$. Um diese Differenz muss eine der Spiralfelgen beim Durchlaufen der Längeneinheit der Kurve auf der Leitschiene gleiten. Der Kraftverlust wird daher ausgedrückt durch

$$\frac{2a}{R} Nf$$

Der mittlere Abstand der Leitschienen von der Bahnaxe beträgt 0.36^m, mithin verwandelt sich obiger Werth in:

(103) $$\frac{0.72}{R} Nf$$

Setzt man $R = 200$, $N = 5000$ und $f = 0.25$, so beträgt dieser Widerstand 4.3 Kilogr. und kann daher für gewöhnliche Verhältnisse vernachlässigt werden.

f. Totalwiderstand auf gerader Bahn.

Bezeichnet man den Totalwiderstand oder den Kraftverlust, den ein Spiralrad verursacht, mit E, so findet man, wenn derselbe unabhängig von anderen Treibrädern wirkt, bei Voraussetzung obiger Fehler nach (96), (99) und (101)

(104) $$E = (0.000276\ V + 0.0627\, f)\, N$$

Ist das Spiralrad mit anderen Rädern gekuppelt, welche mit einem Gewichte L auf die äusseren Schienen drücken, so ergibt sich mit Hinzuziehung von (102)

(105) $$E = (0.000276\ V + 0.0627 f)\, N + 0.982\, d\, f\, L$$

Betrag des Kraftverlustes bei verschiedener Combination beider Räderarten.

Ein Spiralrad mit zwei gewöhnlichen Treibaxen.

Wird das Spiralrad durch besondere Cylinder getrieben, so ist die Totalwirkung aller drei Treibaxen bei der kleinsten Reibung von 0.10

nach (32) 5800 Kilogr. Setzt man den entsprechenden Druck auf die Leitschienen aus (35) in (104) und nimmt man $V = 20$ an, so ergibt sich

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{für} & f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ & E = \ 20 & 39 & 52 & 59 \end{array}\right\} \qquad (106)$$

Der Verlust beträgt demnach im ungünstigsten Falle nur ein Procent der ganzen Kraft.

Wird das Spiralrad mit den beiden andern Rädern gekuppelt und nimmt man auf eine Veränderlichkeit der Durchmesser in Folge Abnutzung von 2 Centimeter Rücksicht, so ist in (105) im Maximum $d = 0.01$ zu setzen, weil die Abweichung vom wahren Durchmesser positiv und negativ sein kann. Ist ferner das Gewicht $L = 20000$ Kilogr., so findet man

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{für} & f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ & E = \ 69 & 78 & 81 & 78 \end{array}\right\} \qquad (107)$$

Der Verlust erreicht demnach bei der grössten Differenz der Radien nur 1.2 bis 1.34 Procent der ganzen Kraft. Bei der mittleren Abnutzung wird $d = 0$ und für E hat man den Werth in (106).

Ein Spiralrad mit vier gewöhnlichen Treibaxen.

Eine Tendermaschine mit vier Cylindern ruhe auf zwei beweglichen Rahmen mit je zwei Räderpaaren. Mit der einen Gruppe sei ein Spiralrad gekuppelt. Das Gewicht der Locomotive betrage 36 Tonnen und sei so vertheilt, dass 20 Tonnen auf die von den Leitschienen unabhängigen vier Räder, und 16 Tonnen auf die mit dem Spiralrade verbundenen fallen.

Aus den Gleichungen (36) und (22) findet man die Totalwirkung

$$W = \{36000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)\}\,f + w \qquad (108)$$

und mit Zuziehung von (18)

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{für} & f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ & W = & 13601 & 11473 & 9390 & 7356 \end{array}\right\} \qquad (109)$$

Mit Anwendung des kleinsten Werthes von W nach (109) folgt aus (108) die Inanspruchnahme des Spiralrades.

$$w = 7356 - \{36000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)\}\,f \qquad (110)$$

Nach (15) ergibt sich ferner als Druck auf die Leitschienen

$$(111) \qquad N = \frac{7356 - [36000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243f)]f}{2.(0.3423 + 0.3817f)}$$

und

$$(112) \qquad \begin{cases} \text{für } f = 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = \quad 0 & 82 & 2452 & 5000 \end{cases}$$

Zur Berechnung des Widerstandes durch das Spiralrad werde auf eine Abnutzung des Durchmessers der damit gekuppelten äussern Treibräder von 1 Centimeter Rücksicht genommen, da bei grösserer Abnutzung dieselben für die andere unabhängige Gruppe verwendet werden können. In (105) ist demnach $d = 0.005$ und $L = 16000$ zu setzen und man erhält dadurch, wenn $V = 20$

$$(113) \qquad E = (0.0055 + 0.0627f)\,N + 78.f$$

Für N die Werthe aus (112) eingesetzt, ergibt:

$$(114) \qquad \begin{cases} \text{für } f = 0.25 & 0.20 & 0.15. & 0.10 \\ E = \quad 20 & 17 & 48 & 66 \end{cases}$$

Der Kraftverlust beträgt also nur 0.23 bis 0.9 Procent der ganzen Leistung von 7356 Kilogrammen oder nicht ganz 2 Kilogramm per Tonne des Maschinengewichtes.

Zwei Spiralräder mit vier gewöhnlichen Räderpaaren.

Jede der zwei Rädergruppen der vorigen Maschine von 36 Tonnen werde mit einem Spiralrade gekuppelt, wodurch auf jedes Cylinderpaar drei Treibachsen kommen, und das Gewicht werde gleichmässig vertheilt oder jedes Rad mit 4.5 Tonnen belastet, so hat man nach (36) und (22) als Gesammtleistung:

$$(115) \qquad W = 2\{[18000 - 10000(0.1413 - 0.9243f)]f + w\}$$

woraus mit Beachtung von (18) für den kleinsten Werth von $f = 0.10$ folgt:

$$(116) \qquad W = 11112 \text{ Kilogr.}$$

Bei dieser Minimalleistung wird:

$$w = 5556 - [18000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243\,f)]f$$

und der Druck auf die Leitschienen:

$$N = \frac{5556 - [18000 - 10000\,(0.1413 - 0.9243f)]f}{2(0.3423 + 0.3817f)} \tag{117}$$

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{oder für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ N = & 950 & 2233 & 3580 & 5000 \end{array}\right\} \tag{118}$$

Setzt man in (105) $V = 20$, $d = 0.005$, $L = 18000$, so wird der Widerstand

$$E = 2\{(0.0055 + 0.0627f)\,N + 88f)\} \tag{119}$$

und hieraus folgt mit Hülfe von (118)

$$\left.\begin{array}{llllll} \text{für } f = & 0.25 & 0.20 & 0.15 & 0.10 \\ E = & 79 & 115 & 153 & 155 \end{array}\right\} \tag{120}$$

Bei dieser Combination beträgt demnach der Kraftverlust 0.7 bis 1.1 % der ganzen Kraft oder 2 bis 4.3 Kilogr. per Tonne des Locomotivgewichtes und übersteigt ungeachtet der vorausgesetzten Fehler kaum den Betrag der Axenreibung, woraus sich auf eine sehr geringe Abnutzung des Materials schliessen lässt.

Leistungsfähigkeit einer Maschine nach combinirtem System in Bezug auf das Traingewicht bei verschiedenen Steigungen und Geschwindigkeiten.

Eine Tendermaschine von 36 Tonnen mit zwei Spiralrädern kann nach (116) bei der kleinsten Reibung von 0.10 noch eine Kraft von 11112 Kilogr. durch die Räder vermitteln. Eine solche Kraft würde hinreichen, um ausser der Maschine einen Train von etwa 110 Tonnen auf einer Steigung von 7 % zu ziehen.

Setzt man für diese ausserordentlichen Verhältnisse eine Geschwindigkeit des Trains von 12 Kilometern per Stunde oder von 3.333^{m} per Secunde voraus, so beträgt die Arbeit der Räder $11112 \times 3.333 = 37038$ Kilogramm-Meter per Secunde oder $\frac{37038}{75} = 493.8$ Pferdekräfte.

Nach der gewöhnlichen Annahme absorbirt der Mechanismus der Locomotive 0.14 der ganzen Kraft; die Arbeit der Cylinderkolben übersteigt demnach die Arbeit der Räder um 0.162 und entspricht also 493.8 × 1.162 = 573.8 Pferdekräften. Die Leistungsfähigkeit und das Gewicht einer Locomotive stehen namentlich hinsichtlich der erforderlichen Dampfproduction in einem gewissen Zusammenhange; es ist daher zu untersuchen, ob das angenommene Gewicht von 36 Tonnen den obigen Effect gestattet. Die neuesten Locomotivconstructionen werden hierbei die geeignetsten Anhaltspunkte bieten. Nach dem Programme für die von der Locomotivfabrik *Kraus & Co.* in München in Paris ausgestellte, mit dem ersten Preise gekrönte vierrädrige Tendermaschine von 18 Tonnen, kann dieselbe eine Bruttolast von 160 Tonnen mit einer Geschwindigkeit von 40 Kilometern per Stunde auf einer Steigung von 5 per mille ziehen, was einer Leistung durch die Cylinderkolben von 290 Pferdekräften entspricht. Nach dem gleichen Programme befördert eine ähnliche Maschine von 25 Tonnen eine Bruttolast von 180 Tonnen mit 50 Kilometer Geschwindigkeit auf derselben Steigung und übt dadurch eine Leistung von 450 Pferdekräften aus. Im ersteren Falle kommen demnach 16, im zweiten 18 Pferdekräfte auf eine Tonne des Maschinengewichtes mit Wasser und Brennmaterialvorrath. Ein ähnliches Verhältniss ergibt sich aus Locomotiven anderer Construction, z. B. nach *Thouvenot.* Nach dem kleinern Verhältniss von 16 Pferdekräften per Tonne entspricht der Arbeitsfähigkeit von 574 Pferden ein Gewicht von 35.8 Tonnen, was also mit der obigen Annahme übereinstimmt. Um ganz sicher zu gehen, wird jedoch in folgender Berechnung die Maschine nur auf 500 Pferdekräfte in Anspruch genommen.

Im Allgemeinen sind stärkere Maschinen, selbst bei verhältnissmässig grösserem Gewichte, für den Bahnbetrieb vortheilhafter, weil dadurch die Anzahl der Züge reducirt werden kann. Für eine vieraxige Maschine wäre ein Gewicht von 40 Tonnen noch kein übermässiges und eine entsprechende Leistung von 640 Pferdekräften keine unerreichte. Eine solche Annahme würde in Bezug auf das Traingewicht oder die Geschwindigkeit zu günstigeren Resultaten führen und ich glaube daher, mit der gemachten Voraussetzung die Vortheile meines Systems keineswegs nach der äussersten Grenze darzustellen.

Bei Berechnung des Widerstandes der Trains gehe ich für denjenigen Theil, welcher nicht von den Spiralrädern abhängt, von den bekannten Erfahrungsresultaten aus, wie sie namentlich von *Redtenbacher* in seinen »Gesetzen des Locomotivenbaues« zusammengestellt wurden.

Bezeichnet L das Gewicht der Locomotive, T das Gewicht des Trains ohne Maschine in Tonnen, V die Geschwindigkeit in Kilometern per Stunde, so besteht der totale Widerstand W' in Kilogrammen, welcher durch die Cylinderkolben zu überwinden ist, aus folgenden Elementen:

1. Axenreibung der Locomotive . . . . . $2.68\,L$
2. Reibungswiderstand, den der Mechanismus der Locomotive verursacht, wenn sie keinen Train zieht . . . $3.57\,L$
3. Zunahme der Maschinenreibung, wenn die Locomotive einen Train fortzieht, der einen Widerstand W' verursacht . . . . . $0.14\,W'$
4. Bahn und Rollungswiderstand der Locomotive . . . $0.138\,VL$
5. Axenreibung des Trains ohne Locomotive . . . . $2.68\,T$
6. Bahn und Rollungswiderstand des Trains ohne Locomotive . . . . . $0.018\,VT$
7. Luftwiderstand des ganzen Trains sammt Locomotive $0.0007\,(49+T)\,V^2$
8. Widerstand durch die Neigung α der Bahn $1000\,\sin\alpha\,(L+T)$
9. Widerstand der Bahnkrümmung, wenn der Radius R, der Radstand der Locomotive 2.5^m und der Radstand der Wagen 3^m beträgt $(2000\,L+2250\,T)\frac{f}{R}$
10. Widerstand, welchen die Spiralräder verursachen . . . . E

Die Summe aller Widerstände gibt die Gleichung:

$$\left.\begin{aligned} 0.86\,W' = {} & (6.25+0.138\,V)L+(2.68+0.018\,V)T+0.0007(49+T)V^2 \\ & +1000\,\sin\alpha\,(L+T)+(2000L+2250T)\frac{f}{K}+E \end{aligned}\right\} \quad (121)$$

In dem Widerstande $0.14\ W'$ der Zunahme der Maschinenreibung ist, wie aus einer späteren Erklärung hervorgehen wird, wahrscheinlich die Zunahme des Bahnwiderstandes durch die vermehrte Action der Treibräder inbegriffen. Für grosse Steigungen oder eine ausserordentliche Kraftentwickelung dürfte aber diesem Widerstande durch jenen Ausdruck nach dem gewöhnlichen System, bei welchem die Adhäsion allein dem Gleiten der Räder entgegenwirkt, zu wenig Rechnung getragen sein, während derselbe nach dem neuen System, bei welchem die gleitende Bewegung einen nahe constanten, durch E ausgedrückten Werth hat, aus $0.14\ W'$ wegfallen sollte. Die Vergleichung beider Systeme nach dieser Formel muss demnach als eine das gewöhnliche System begünstigende angesehen werden.

Für eine Maschine von 36 Tonnen mit zwei Spiralrädern und vier damit gekuppelten Räderpaaren hat man nach (105) und (119) für den grössten Werth von E

$$E = (0.011 + 0.125f)\,N + 176\,f. \tag{122}$$

In welcher Gleichung:

$$N = \frac{\frac{W}{2} - [18000 - 10000(0.1413 - 0.9243f)]f}{2(0.3423 + 0.3817f)} \tag{123}$$

Zwischen der Kraft W, welche durch die Räder, und der Kraft W', die durch die Cylinderkolben vermittelt wird, besteht der Zusammenhang:

$$W = 0.86\,W' - 6.25\,L \tag{124}$$

Bei einer Arbeit der Cylinderkolben von 500 Pferdekräften muss zwischen dem Widerstande W' und der Geschwindigkeit V in Kilometern per Stunde die Beziehung stattfinden:

$$W'V \cdot \frac{1000}{3600} = 500 \times 75$$

oder

$$W' = \frac{135000}{V} \tag{125}$$

Diesen Werth für W' in (124) gesetzt, gibt:

$$W = \frac{116100}{V} - 6.25\,L \tag{126}$$

Aus den beiden letzteren Gleichungen ergeben sich, wenn $L = 36$, folgende zusammengehörige Werthe von V, W und W'

(127)

$V =$	12	14	16	18	20
$W =$	9450	8068	7031	6225	5580
$W' =$	11250	9643	8438	7500	6750

Diese Werthe von W, verglichen mit denjenigen von (109) und (116), zeigen, dass die Combination mit zwei Spiralrädern mehr als hinreicht, um bei der kleinsten Adhäsion denselben zu genügen und dass die Maschine mit einem Spiralrade und 4 anderen Räderpaaren für Geschwindigkeiten über 15 Kilometer den Anforderungen noch entspricht.

Setzt man den grössten Werth von W aus (127), nämlich 9450 in (123), so findet man vermittelst der Ergebnisse für N bei den verschiedenen Reibungscoefficienten aus (122)

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$E =$	44	80	102	107

Während dieser Widerstand E abnimmt, wächst aber das von der Bahnkrümmung herrührende Glied $(2000\,L + 2250\,T)\frac{f}{R}$, wenn der Reibungscoefficient grösser wird. Nimmt man den Radius zu 200 Meter an, so wird die Summe beider Glieder für ein Traingewicht über 80 Tonnen inclusive Maschine am grössten, wenn f am grössten ist. Mithin hat man für das Maximum dieser beiden Glieder:

$$2.5\,L + 2.81\,T + 44$$

Für (121) kann man daher bei einer Bahnkrümmung von 200 Meter Radius schreiben:

$$0.86\,W' = (8.75 + 0.138\,V)\,L + (5.49 + 0.018\,V)\,T + 0.0007\,(49 + T)\,V^2 + 1000\,\sin\alpha\,(L + T) + 44 \qquad (128)$$

Berechnet man aus dieser Gleichung das Traingewicht T, so findet man:

$$T = \frac{0.86\,W' - (8.75 + 0.138\,V + 1000\,\sin\alpha)\,L - 0.034\,V^2 - 44}{5.49 + 0.018\,V + 0.0007\,V^2 + 1000\,\sin\alpha} \qquad (129)$$

und ersetzt man W' nach (125) durch V, so hat man:

$$T = \frac{\frac{116100}{V} - (8.75 + 0.138\,V + 1000\,\sin\alpha)\,L - 0.034\,V^2 - 44}{5.49 + 0.018\,V + 0.0007\,V^2 + 1000\,\sin\alpha} \qquad (130)$$

Nach dieser Gleichung wurde folgende Tabelle für das Traingewicht T berechnet, welches die Locomotive bei verschiedenen Geschwindigkeiten und auf verschiedenen Bahnsteigungen bei einer Krümmung von 200 Meter Radius ziehen kann:

V	12	14	16	18	20
$sin\ \alpha$	T in Tonnen				
0.02	330	275	234	202	176
0.025	270	225	190	164	142
0.03	228	189	159	133	117
0.04	170	140	117	98	84
0.05	133	108	89	75	63
0.06	107	86	70	58	48
0.07	89	70	59	45	37
0.08	74	58	46	36	28

(131)

Vermittelst einer Maschine von 36 Tonnen und 500 Pferdekräften können nach diesen Ergebnissen z. B. auf einer Steigung von 25 per mille ausser dem Eigengewichte derselben 270 Tonnen, auf 50 per mille 133 Tonnen und auf 80 per mille noch 74 Tonnen oder das Doppelte des Maschinengewichtes befördert werden.

Aus (127) und (123) ergeben sich für obige Leistungen bei verschiedenen Adhäsionsverhältnissen folgende Werthe für den Druck N in Kilogrammen, welchen die Leitschienen auszuhalten haben:

V	12	14	16	18	20
$f.$	N in Kilogr.				
0.25	0	0	0	0	0
0.20	1240	415	0	0	0
0.15	2540	1675	1025	520	117
0.10	3900	3000	2320	1800	1365

(132)

Selbst bei der grössten Kraftentwickelung übersteigt dennoch bei gewöhnlichen Reibungszuständen die Inanspruchnahme der Leitschienen nicht 2500 Kilogr. und bleibt selbst bei dem kleinsten Coefficienten von 0.10 unter 4000 Kilogr.

Da auch die äusseren Schienen nur mit 4500 Kilogr. belastet werden, so bedarf der Oberbau keiner ausserordentlichen Stärke.

Aus (130) findet man zur Berechnung der Bahnsteigungen, auf welcher eine gegebene Wagenlast T mit der Geschwindigkeit V in Kilometern per Stunde gezogen werden kann, die Gleichung:

$$1000 \sin \alpha = \frac{\frac{116100}{V} - (8.75 + 0.138V)L - (5.49 + 0.018V + 0.0007V^2)T - 0.034V^2 - 44}{T + L} \tag{133}$$

Hieraus wurden folgende Resultate gefunden:

V	12	14	16	18	20	22	24
T	Steigungen per mille						
80	75.7	64.7	54.6	47.5	41.8	37.0	33.0
100	63.7	53.5	45.7	39.6	34.7	30.7	27.2
120	54.8	45.8	39.1	33.7	29.4	25.9	22.9
140	47.9	40.0	34.0	29.2	25.4	22.8	19.5
160	42.4	35.2	29.8	25.6	22.2	19.8	16.9
180	38.0	31.5	26.6	22.7	19.6	17.0	14.8
200	34.2	28.3	23.8	20.3	17.4	15.0	13.0

(134)

Nach dieser Tabelle ist die Maschine z. B. im Stande, einen Wagenzug von 80 Tonnen auf einer Steigung von 33 per mille mit einer Geschwindigkeit von 24 Kilometern, aber auch noch auf einer Steigung von 75 per mille, mit einer Reduction der Geschwindigkeit auf 12 Kilometer per Stunde, zu befördern.

Wenn auf einer Bahn starke Steigungen mit schwachen wechseln, so können die innern Schienen auf den letztern für gewisse Grenzen weggelassen werden.

Eine Maschine von 36 Tonnen Adhäsionsgewicht kann durch die gewöhnlichen Räder bei der kleinsten Reibung von 0.10 einen Widerstand von 3600 Kilogrammen überwinden.

Aus (126) folgt für diesen Werth von W:

$$\frac{116100}{V} = 3825$$

und

$$V = 30$$

Setzt man in (133) $V = 30$, so ergibt sich:

$$(135) \qquad 1000 \sin \alpha = \frac{3330 - 6.66\,T}{T + 36}$$

Hieraus findet man

(136)

für	$T =$	80	100	120	140	160	180	200
$1000 \sin \alpha =$		24.1	19.6	16.2	13.7	11.6	9.9	8.5

Sollen auf einer solchen Bahn keine grösseren Züge als 160 Tonnen ausser der Maschine befördert werden, so sind demnach auf Steigungen unter 12 per mille die Leitschienen überflüssig. Bei Annahme einer grössern Adhäsion als 0.1 oder bei grössern Krümmungsradien wachsen aber die bezüglichen Grenzen.

Kraft, welche beim Abwärtsfahren der Züge durch Bremsen aufgehoben werden muss.

Die beschleunigende Kraft B, welche beim Abwärtsfahren auf einen Zug einwirkt, und durch Bremsen aufgehoben werden muss, ist gleich dem Produkte aus dem Gewichte in den Sinus des Neigungswinkels, weniger dem Reibungs- und Luftwiderstande. Vernachlässigt man, um das Maximum dieser Kraft zu erhalten, den Widerstand der Bahnkrümmung und der Spiralräder, so ist:

$$(137) \quad B = 1000 \sin \alpha\,(L + T) - (6.25 + 0.138\,V)\,L - (2.68 + 0.018\,V)\,T - 0.0007\,(49 + T)\,V^2$$

Für eine Geschwindigkeit von 20 Kilom. per Stunde hat man:

$$(138) \qquad B = 1000 \sin \alpha\,(L + T) - 9.01\,L - 3.04\,T - 14$$

Die den verschiedenen Steigungen und verschiedenen Lasten T entsprechenden Werthe von B sind nach dieser Gleichung in folgender Tabelle zusammengestellt:

T	80	100	120	140	160	180	200
1000 *sin* α	B in Kilogr.						
20	1716	2050	2384	2717	3050	3385	3718
25	2296	2730	3164	3597	3730	4465	4898
30	2876	3410	3944	4477	5010	5545	6078
40	4036	4770	5504	6237	6970	7625	8438
50	5196	6130	7064	7997	8930		
60	6356	7490	8624				
70	7516	8850					
80	8676						

(139)

Wird durch die Maschine allein gebremst, so findet man den Druck auf die Leitschienen, wenn man in (123) anstatt W die Werthe von B aus obiger Tabelle einsetzt. Für den ungünstigsten Zustand der Schienen von $f = 0.10$ hat man:

$$N = \frac{\frac{B}{2} - 1751}{0.761} \tag{140}$$

Aus dieser Gleichung ergeben sich folgende den Widerständen in (139) entsprechenden Werthe für N:

T	80	100	120	140	160	180	200
1000 *sin* α	N in Kilogr.						
20	0	0	0	0	0	0	140
25	0	0	0	60	150	630	910
30	0	0	160	630	990	1350	1690
40	350	830	1310	1790	2280	2700	3240
50	1110	1720	2340	2950	3560		
60	1870	2620	3360				
70	2620	3510					
80	3400						

(141)

Bei den Lasten und Steigungen der Tabellen (131) und (134) entsteht also beim Bremsen der Züge kein grösserer Druck auf die Leitschienen, als 3000 Kilogr., selbst wenn der Reibungscoefficient 0.1 beträgt. Für einen mittlern Adhäsionszustand von 0.175 hat man:

$$N = \frac{\frac{B}{2} - 3186}{0.818} \tag{142}$$

und hieraus ergeben sich folgende Werthe für N:

(143)

T	80	100	120	140	160	180	200
1000 $sin\ \alpha$	N						
20	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	370	770	1260
50	0	0	420	1000	1560		
60	0	680	1386				
70	700	1500					
80	1400						

Der Widerstand der gewöhnlichen Treibräder genügt also nahezu vollständig, um die beschleunigende Kraft der grössten Züge auf den bezüglichen Steigungen bei einem mittlern Zustande der Schienen aufzuheben.

Der Druck auf die Leitschienen verschwindet zwar nur bei einem normalen Durchmesser der äussern Triebräder vollständig, sowohl beim Ziehen als beim Zurückhalten. Hat derselbe einen Fehler d, so müssen die zwei Spiralräder zusammen eine Kraft $\frac{d\pi}{3.2} f L$ in der Richtung der Bahn überwinden; daraus entsteht nach (15), in welcher Gleichung $w = \frac{d\pi}{6.4} f L$ zu setzen ist, ein Druck auf die Schienen von

$$N = \frac{d\pi f L}{12.8\,(0.3423 + 0.3817\,f)}$$

Für einen Fehler $d = 0.005$ ergibt sich daher:

$$N = \frac{0.0012\,f L}{0.3423 + 0.3817\,f}$$

welcher Werth für $f = 0.25$ oder bei dem grössten Reibungscoefficienten am grössten wird. Man hat daher in Folge dieses Fehlers im Maximum auf die Leitschienen einen Druck von

$$N = 0.00068\ L = 25 \text{ Kilogramm},$$

was von keiner Bedeutung ist.

Vergleichung der Leistungsfähigkeit beider Systeme.

Da die Leistungsfähigkeit der Locomotive nach gewöhnlichem System in Beziehung auf die Zugkraft von dem Reibungswiderstande zwischen Schienen und Triebrädern abhängt, so ist die vortheilhafteste Maschine, wenn es sich um grosse Kraftäusserung handelt, eine Tendermaschine, bei welcher das ganze Gewicht mit Wasser und Brennmaterialvorrath zur Adhäsion mitwirkt. Zu einer Parallele beider Systeme wähle ich daher die gleiche Locomotive von 36 Tonnen mit zwei Rädergruppen von je zwei gekuppelten Axen, mit Weglassung der Spiralräder. Die Kraft, welche durch die Räder einer solchen Locomotive vermittelt werden kann, wird durch Lf ausgedrückt und für den Widerstand, den die Cylinderkolben zu überwinden haben, kann man setzen:

$$W' = Lf + 0.14\ W'$$

oder

$$W' = 1.162\ Lf \tag{144}$$

Wenn $L = 36000$, so wird

für $f =$	0.25	0.20	0.15	0.10
$W' =$	10458	8366	6274	4183

(145)

Die Beziehung zwischen dieser Kraft W' und der angehängten Last T ist die gleiche wie in (121), wenn E gleich 0 gesetzt wird. Nimmt man in dem Gliede für den Kurvenwiderstand wie früher R zu 200^m und f zu 0.25 an, so hat man:

$$0.86\ W' = (8.75 + 0.138\ V)\ L + (5.49 + 0.018V)\ T + 0.0007\ (49 + T)V^2 + 1000\ sin\ \alpha\ (L + T) \tag{146}$$

und hieraus findet man für die Last T, welche von der Maschine gezogen werden kann, die Gleichung:

$$T = \frac{0.86\ W' - (8.75 + 0.138\ V)\ L - 1000\ sin\ \alpha\ L - 0.034V^2}{5.49 + 0.018V + 0.0007V^2 + 1000\ sin\ \alpha} \tag{147}$$

Für die Arbeit von 500 Pferdekräften sind die Grössen W' und V an die Beziehung (125) gebunden. Den Widerständen in (145) entsprechen demnach beziehungsweise die Geschwindigkeiten 12.91, 16.136, 21.56 und 32.28 Kilom. per Stunde. Setzt man die Geschwindigkeit kleiner voraus, so geschieht diess zu Gunsten der Grösse der Last T. Um letztere möglichst gross zu erhalten, wird die kleinste der obigen Geschwindigkeiten, nämlich 12.91 Kilom. per Stunde für alle Werthe von W' als constant angenommen; dadurch erhält man:

(148) $$T = \frac{0.86\ W' - (10.53 + 1000\ sin\ \alpha)\ 36 - 5.7}{5.84 + 1000\ sin\ \alpha}$$

Hieraus ergeben sich folgende zusammengehörigen Werthe für T, W', $1000\ sin\ \alpha$ und f:

(149)

f	0.25	0.20	0.15	0.10
W'	10458	8366	6274	4183
1000 $sin\ \alpha$	T in Tonnen:			
20	305	236	166	96
25	250	191	133	75
30	210	160	110	60
40	156	117	78	38
50	122	90	57	25
60	98	70	43	16
70	80	56	33	9
80	66	45	25	4

Aus der Vergleichung dieser Ergebnisse mit derjenigen in (131) geht hervor, dass der Reibungscoefficient f grösser als 0.25 sein müsste, um vermittelst der gewöhnlichen Maschine gleiche Lasten befördern zu können. Bei einer Alpenbahn, bei welcher lange Tunnel unvermeidlich sind und überdiess vermöge der bedeutenden Höhe über Meer selbst im Sommer namentlich Nebel und Frost höchst ungünstig auf die Adhäsion einwirken, kann nicht darauf gerechnet werden, dass in der besten Jahreszeit nicht Strecken vorkommen, wo dieser Coefficient auf 0.15 bis 0.10 heruntersinkt. Selbst die Anwendung von Sand wird denselben nicht sicher auf einem Werthe von 0.15 erhalten. Es können daher für die Leistungen

des gewöhnlichen Systems nur die zwei letzten Kolonnen für $f = 0.15$ und 0.10 in Frage kommen. Aus den Resultaten von (131) und (149) ergeben sich folgende Verhältnisse der grössten Traingewichte beider Systeme auf verschiedenen Steigungen:

Steigung per mille	20	25	30	40	50	60	70	80
$f = 0.10$	3,43	3,60	3.80	4.48	5.32	6.68	9.80	18.5
$f = 0.15$	2.00	2.03	2.07	2.18	2.33	2.49	2.70	3.00

(150)

Bei einer Adhäsion von 0.10 kann also die Locomotive mit den Spiralrädern je nach der Bahnsteigung von 2 bis 8 Procent das zwei bis dreifache Traingewicht ziehen, als ohne dieselben bei dem grössern Reibungscoefficienten von 0.15 und das 3.5- bis 18fache bei gleich ungünstigem Schienenzustande. Je ungünstiger die Adhäsions- und Steigungsverhältnisse sind, desto grösser ist der Unterschied des Nutzeffects zu Gunsten des neuen Systems.

Vergleichung der Fahrzeit nach beiden Systemen.

Die gleich gross vorausgesetzte Dampfproduktion beider Maschinen gestattet nach dem gewöhnlichen System vermöge des kleinern durch die Adhäsion beschränkten Kraftaufwandes oder des kleinern Traingewichtes eine verhältnissmässig grössere Geschwindigkeit; aber das wirkliche Verhältniss der Geschwindigkeiten gestaltet sich nach der Annahme gleicher Lasten. Bei dieser Voraussetzung erfordert die Ersteigung einer gewissen Höhe auf gleich langem Wege, derselbe mag gleichmässig oder ungleichmässig steigen, die nämliche Zeit, weil die gleiche Arbeit zu verrichten ist, vorausgesetzt, dass die stärkern Steigungen nur einen von der Schwere und nicht vom Mechanismus abhängigen grössern Widerstand erzeugen, was bei dem neuen System der Fall ist. Die Einbusse an Geschwindigkeit auf den stärkeren Steigungen kann auf den schwächeren wieder nachgeholt werden. Angenommen, es handle sich z. B. um Ersteigung einer Höhe von 1000 Metern auf einer Länge von 40 Kilometern, und das Terrain sei so beschaffen, dass diess auf zwei Arten geschehen könne, entweder mit ungleichmässiger Steigung der Thalsohle nach oder mit gleichmässiger den Gebirgsabhängen entlang, und im erstern Falle

ergebe sich eine Strecke von 20 Kilom. mit 4 per mille, eine zweite von 16 Kilom. mit 4 % und eine dritte von 4 Kilom. mit 7 %, im letztern Falle aber für die ganze Länge von 40 Kilom. eine mittlere Steigung von 25 per mille, so hat man folgende bezüglichen Geschwindigkeiten. Personenzüge von 80 Tonnen befahren in der Regel auf Thalbahnen unter 12 per mille Maximalsteigung 40 Kilom. und auf Bergbahnen mit 25 per mille 25 Kilom. per Stunde. Nach dem neuen System können solche Züge auf 4 % mit 20 Kilom. und auf 7 % mit 12 Kilom. Geschwindigkeit befördert werden. Darnach berechnet sich die Fahrzeit:

1. Bei der ungleichmässigen Steigung:

Auf der Strecke mit 4‰ zu $\frac{20}{40}$ = 0.50 Stunden

- - - - 4 % - $\frac{16}{20}$ = 0.80 -

- - - - 7 % - $\frac{4}{12}$ = 0.33 -

im Ganzen zu 1.63 Stunden.

2. Bei der gleichmässigen Steigung:

Auf der ganzen Linie von 40 Kilom. zu $\frac{40}{25}$ = 1.60 Stunden.

Das neue System ermöglicht also, mit einem gewöhnlichen Train der Thalbahnen eine gegebene Höhe nach sehr ungleichen Steigungsverhältnissen in gleicher Zeit zu ersteigen.

Die zulässige grössere Variation der Steigungen kann auf die Anlagekosten einen wesentlichen Einfluss ausüben. Gewöhnlich bietet die Thalsohle ein schon durch die Natur zubereitetes Terrain, während die Seitenabhänge der Thäler alle möglichen Bauschwierigkeiten aufweisen und überdiess die Sicherheit des Betriebes oft gefährden. Noch wichtiger ist die dadurch bei Bergübergängen ermöglichte Umgehung grosser Tunnel. Aus den Angaben im zweiten Theile, dessen Hauptinhalt die vergleichende Berechnung der Betriebskosten für Bahnen mit wesentlich verschiedenen Steigungen im Allgemeinen und im Speciellen für zwei Projekte über den Gotthard bildet, kann zugleich ermessen werden, wie sehr sich die Baukosten für eine schwierige Gebirgsbahn durch das neue System modifiziren können.

II. Theil.

Anwendung auf den Gotthard mit Rücksichtnahme auf die schweizerische Alpenbahnfrage im Allgemeinen.

Technische Verhältnisse der Projekte nach beiden Systemen.

Die praktischen Erfolge eines neuen Eisenbahnsystems können allerdings nur nach der Erfahrung vollständig gewürdigt werden. Ungeachtet dieses Mangels grösserer Experimente glaube ich dennoch die theoretischen Resultate mit der Wirklichkeit nahe übereinstimmend annehmen und aus denselben weitere Schlüsse ableiten zu dürfen.

Um die Bedeutung des neuen Systems für den Eisenbahnbau in Gebirgsgegenden an einem Beispiele anschaulich zu machen und zugleich in der wichtigsten materiellen Frage unseres Landes womöglich einen Dienst zu leisten, wähle ich zu einer nähern Untersuchung einen der schweizerischen Alpenpässe.

Die Möglichkeit, viel stärker geneigte Bahnen, als nach gewöhnlichem System zulässig ist, vortheilhaft betreiben zu können, wird verhältnissmässig grössere Höhen zu überschreiten und dagegen den Bau ausserordentlich langer Tunnel mit unbestimmter Bauzeit zu vermeiden gestatten. Die klimatischen Einflüsse bilden kein absolutes Hinderniss gegen eine Bahn in grosser Höhe; sie werden zum Schutze des Bahnbetriebes grosse Baukosten verursachen, aber lange nicht in dem Grade, wie Tunnel von 12 bis 15 Kilometer Länge ohne Schächte. Die Erleichterung eines höhern Ueberganges kann möglicher Weise die Rangordnung der in Frage kommenden Alpenpässe in Bezug auf technische Vorzüge verändern, indem der eine für eine höhere, der andere für eine tiefere Linie relativ günstiger gestaltet sein kann; ich lege mir aber hier

nicht die Aufgabe vor, die Vorzüglichkeit des einen oder des andern nachzuweisen und abzuwägen, sondern die wahrscheinlichen Resultate der Anwendung meines Systems gegenüber bisherigen Projekten im Allgemeinen zu begründen.

Eine solche Vergleichung würde übrigens meines Erachtens die Sache einstweilen nicht weiter fördern, als die bisherigen ähnlichen Arbeiten. Hängt die Ausführung einer einzigen schweizerischen Alpenbahn von so grossen Subsidien ab, wie sie bisher als nothwendig erachtet wurden, so kann der Realisirung mit wenig Hoffnung entgegengesehen werden. Bei der Existenz zweier der Schweizergrenze nahe gelegener Bahnen, über den Brenner und über den Mont Cenis, wird von auswärtigen Staaten keine sehr grosse Unterstützung zu erwarten sein. Der Concentrirung der inländischen Kräfte oder einer wirksamen Hülfe des Bundes ausschliesslich für *eine* Linie stehen aber die einander entgegengesetzten Interessen der einzelnen Landestheile oder Kantone im Wege. Weder die Mittelschweiz, noch die Ost- oder Westschweiz wird auf den zunächst gelegenen Pass verzichten und zum eigenen Schaden für einen andern grosse Opfer bringen. Ein weiteres Hinderniss besteht in der Schwierigkeit der Beschaffung des übrigen Baukapitals für Projekte mit ausserordentlich langer und nicht leicht vorauszubestimmender Bauzeit, selbst bei günstiger Aussicht auf eine schliessliche Rentabilität.

Gestaltet sich aber die Sache durch eine zweckmässigere technische Lösung der Art, dass das Unternehmen durch sich selbst oder vermittelst einer Unterstützung, welche die verfügbaren Kräfte der zunächst Betheiligten nicht übersteigt, ein für das Baukapital nach kurzer Zeit lohnendes zu werden verspricht, so möchte es in diesem Falle erspriesslicher sein, zunächst zu untersuchen, ob es durch Vereinigung aller Hülfsmittel nicht möglich gemacht würde, zur allgemeinen Befriedigung der Landesbedürfnisse mehr als einen Pass zu überschienen oder wenigstens in Aussicht zu nehmen und den Grund von Anfang dazu zu legen, anstatt das bisherige Verfahren der möglichsten Geltendmachung der Interessen eines Theiles auf Kosten eines andern weiter fortzusetzen.

Zur vorläufigen Beurtheilung der Möglichkeit einer solchen Combination mag eine genaue Untersuchung eines der fraglichen Pässe genügen, indem man dadurch zugleich einen Maassstab für die andern gewinnt. Aus diesem Gesichtspunkte wählte ich den Gotthard.

Zur Bearbeitung des neuen Projektes benutzte ich die Terrainaufnahmen, welche allen bisherigen Projekten als Grundlage dienten, so dass ich nun nach zwei gleich genau und detaillirt ausgearbeiteten Plänen und Kostenberechnungen für Flülen-Biasca eine Vergleichung beider Systeme

anzustellen im Falle bin, deren wichtigste Resultate ich in Folgendem niederlege.

Das frühere Projekt mit Steigungen von 25 ‰ und zirka 15 Kilom. langem Tunnel lege ich in der Weise zu Grunde, wie dasselbe von der italienischen Expertenkommission empfohlen wurde.

Elemente des Projektes nach bisherigem System:

Länge Flüelen-Biasca		90.3 Kilom.
Länge der Gebirgsbahn Flüelen-Bodio		83.8 »
» Flüelen-Göschenen		31.5 »
» des Alpentunnels Göschenen-Airolo		14.9 »
» Airolo-Bodio		37.4 »
Höhe von Flüelen		438 Meter.
» » Göschenen		1110 »
» des Culminationspunktes		1137 »
» von Airolo		1130 »
» » Bodio		318 »
Grösste Steigung auf der Nordseite	per mille	25
» » » » Südseite	» »	26.5
Mittlere Steigung Flüelen-Göschenen	» »	21.33
» » Airolo-Bodio	» »	21.90
» » Flüelen-Bodio	» »	18.12
Kleinster Radius der Bahnkrümmung		300 Meter.
Länge sämmtlicher Tunnel		33.44 Kilom.

Elemente des Projektes nach dem neuen System:

Länge der Bahn Flüelen-Biasca	89.24	Kilom.
Länge der ersten Abtheilung Flüelen-Amsteg und Bodio-Biasca, Fortsetzung der Thalbahnen	21.94	»
Länge der zweiten Abtheilung Amsteg-Wasen und Piotta-Bodio	34.70	»
Länge der dritten Abtheilung Wasen-Piotta	32.60	»
Höhe über Meer beim Ausgangspunkte in Flüelen	438.5	Meter.
» » » des Culminationspunktes	1849	»
» » » beim Anschluss an Biasca-Bellinzona	293.6	»
Maximalsteigung der ersten Abtheilung Flüelen-Amsteg und Bodio-Biasca	12	‰
Maximalsteigung der zweiten Abtheilung Amsteg-Wasen und Piotta-Bodio	4	%

Maximalsteigung der dritten Abtheilung Wasen-Piotta	7	%
Mittlere Steigung der ersten Abtheilung	5.21	‰
» » » zweiten »	29.49	‰
» » » dritten »	56.08	‰
Länge der Geraden	57.625	Kilom.
» » Kurven	31.615	»
Kleinster Krümmungsradius	300	Meter
Mittlerer »	1175	»
Länge des grössten Tunnels durch den Gotthard . .	4800	»
Grösste Tiefe der Schächte für denselben	250	»
Mittlere » » » » »	150	»
Länge des bedeckten Weges im Ganzen	29.08	Kilom.

Betriebskosten nach beiden Bahnsystemen.

Zur Berechnung der Betriebskosten für die beiden Bahnsysteme gehe ich von den gleichen Verkehrsquantitäten, welche der Betriebsrechnung im commerziellen Gutachten der Herren Koller, Schmidlin und Stoll zu Grunde gelegt wurden, so wie von den gleichen Einheitspreisen aus, so weit nicht eine andere Berechnungsweise durch die Verschiedenheit der Systeme zu einer grundsätzlichen Vergleichung nothwendig wird. Die ungleiche Ausübung der Zugkraft bedingt nämlich eine Analisirung der bezüglichen Kosten in Grundfaktoren, welche nicht durch die bisherigen Betriebsresultate unmittelbar gegeben werden, sondern aus diesen erst abgeleitet werden müssen.

Das alte Projekt zerfällt nach dem Betriebsmodus in die Abtheilung von 6.4 Kilom., welche sich den Thalbahnen anschliesst, und in die Gebirgsbahn von 83.8 Kilom. Länge mit Maximalsteigungen von 25 bis 26.5 ‰.

Bei dem neuen Projekte sind drei Abtheilungen zu unterscheiden: 1) Die Thalbahn von 21.94 Kilom. Länge mit 12 ‰ Maximalsteigung; 2) die Gebirgsbahn von 34.7 Kilom. mit 4 % und 3) die Gebirgsbahn von 32.6 Kilom. mit 7 % grösster Steigung. Da bei beiden Projekten die Maximalsteigungen, welche auf die Betriebskosten wesentlich influiren, auf langen Strecken vorkommen, so werden dieselben anstatt der mittlern Steigungen in die Kostenberechnung eingeführt, wobei zu Gunsten des alten Projektes 25 ‰ angenommen werden. Dessgleichen wird für alle Gebirgsbahnen nicht die mittlere Krümmung, sondern ein Radius von

600 Metern, welcher ungefähr den stark geneigten Bahnstrecken längs Berghalden entspricht, in Rechnung gebracht.

Verkehr. — In dem erwähnten Gutachten wurde ein Verkehr von 180000 Reisenden und 270000 Tonnen Güter per Jahr über die ganze Bahn angenommen. Ferner wurde in den Einnahmen für Vieh- und Equipagentransport ein Bruttoertrag von Fr. 2100 angesetzt, was einer Stückzahl von etwa 13000 Grossvieh und 13000 Kleinvieh entspricht.

Bruttolasten ohne Maschinen und Anzahl der Wagenaxen. — Bei der Annahme von 6 Personen per Axe zu 0.1 Tonnen sammt Gepäck mit einem Taragewichte von 3 Tonnen, hat man eine Bruttolast von 0.6 Tonnen per Person und von 3.6 Tonnen per Axe. Ein Gewicht der Güterwagen von 2.25 Tonnen per Axe mit einer mittlern Belastung von 1.75 Tonnen ergibt per Tonne Güter 2.3 Tonnen und per Axe 4 Tonnen Bruttolast. Ferner können für ein Stück Grossvieh 2.5 Tonnen und für ein Stück Kleinvieh 0.5 Tonnen Bruttolast gerechnet werden.

Die Bruttolasten ohne Maschine betragen demnach:

für Personen	18,000	× 0.6 =	108,000	Tonnen
« Güter	270,000	× 2.3 =	621,000	»
» Grossvieh	13,000	× 2.5 =	32,500	»
» Kleinvieh	18,000	× 0.5 =	6,500	»
im Ganzen			768,000	Tonnen.

Dieser Bruttolast entsprechen:

Personenwagenaxen:	$\frac{108000}{3.6}$	= 30000
Güterwagenaxen:	$\frac{660000}{4}$	= 165000
Wagenaxen im Ganzen:		195000

Gewicht und Anzahl der Züge. — Bei dem Projekte mit 25 ‰ Steigung wurden auf der Strecke im Thale jährlich 3226 und auf der Bergbahn 2496 Personenzüge zu 80 Tonnen Gewicht angenommen. Die entsprechenden Bruttolasten sind demnach:

auf der Thalbahn	3226 × 80 =	258080	Tonnen
» » Bergbahn	2496 × 80 =	199680	»

Da diese Lasten das Gewicht der Personenwagen übersteigen, so werden die Personenzüge durch Güterwagen bis zu dem Gewichte von 80 Tonnen ergänzt.

Die Anzahl der Güterzüge wurde für die Thalbahn zu 2920 und für die Bergbahn zu 3650 angesetzt. Daraus ergeben sich für die Güterzüge folgende Lasten:

auf der Thalbahn: $\frac{768000 - 258080}{2920} = 175$ Tonnen

» » Bergbahn: $\frac{768000 - 199680}{3650} = 156$ »

Da wegen ungleichem Güterzufluss und ungleich günstigem Schienenzustande ein Schwanken des Gewichtes der Güterzüge bis zu 250 Tonnen vorausgesetzt wird, so entsprechen solchen Zügen auf der Thalbahn mit Steigungen bis 12 ‰ Tendermaschinen von wenigstens 45 Tonnen Gewicht. Auf der Bergbahn erfordern diese Züge zwei solcher Maschinen. Für die Personenzüge können für beide Abtheilungen Maschinen von 36 Tonnen angenommen werden.

Nach der Tabelle (131) kann eine Maschine von 36 Tonnen nach *neuem* System auf 4 % Steigung 170 und auf 7 % noch 89 Tonnen ziehen und zwar ohne Rücksicht auf den Schienenzustand. Um selbst auf der stärksten Steigung noch eine Geschwindigkeit von 14 Kilom. per Stunde einhalten zu können, nehme ich für die Personenzüge ein Gewicht von 70 Tonnen an und um den Schwankungen des Verkehrs Rechnung zu tragen, sei das Gewicht der Güterzüge im Mittel 140 Tonnen, welches auf der Strecke mit 4 % eine und auf der Partie mit 7 % Steigung zwei Maschinen erfordert.

Das Bruttogewicht aller Personenzüge von der gleichen Anzahl wie auf der Bahn mit 25 ‰ beträgt demnach ohne Maschinen auf beiden Abtheilungen mit 4 und 7 %:

$$2496 \times 70 = 174720 \text{ Tonnen.}$$

Die Anzahl der Güterzüge ist daher: $\frac{768000 - 174720}{140} = 4238$

Anzahl der Maschinenkilometer per Bahnkilometer.

1. Thalbahn.

für Personenzüge	3226
» Güterzüge	2920
Total	6140

2. Bergbahn mit 25 ‰

für Personenzüge	2496
» Güterzüge $2 \times 3650 =$	7300
Total	9796

3. Bergbahn mit 4 %

für Personenzüge	2496
» Güterzüge	4238
Total	6734

4. Bergbahn mit 7 %

für Personenzüge	2496
» Güterzüge	8476
Total	10972

Gesammtbruttolasten per Kilometer.

1. Thalbahn

Wagen			768,000
Maschinen der Personenzüge	3226 × 36	=	116,136
» » Güterzüge	2920 × 45	=	131,400
Total			1,015,536 Tonnen.

2. Bergbahn mit 25 ‰

Wagen			768,000
Maschinen der Personenzüge	2496 × 36	=	89,856
» » Güterzüge	7300 × 45	=	328,500
Total			1,186,356 Tonnen.

3. Bergbahn mit 4 %

Wagen			768,000
Maschinen	6734 × 36	=	242,424
Total			1,010,424 Tonnen.

4. Bergbahn mit 7 %

Wagen			768,000
Maschinen	10972 × 36	=	394,992
Total			1,162,992 Tonnen.

Kostenberechnung für die vier verschiedenen Abtheilungen per Kilometer Doppelgeleise.

Die erste Abtheilung entspricht den mittleren Verhältnissen der Thalbahnen überhaupt, insbesondere der schweiz. Nordostbahn, welcher eine mittlere Steigung von 5 ‰ und eine mittlere Krümmung von 2000 Meter Radius zukommt und daher unmittelbare Anhaltspunkte zur Bestimmung der Betriebskosten dieser Strecke entnommen werden können. Auf die Elemente der Arbeit zurückgeführt, können die Kosten der Thalbahnen aber auch zur Ermittelung der Ausgaben bei Gebirgsbahnen dienen, indem bei allen Bahnverhältnissen die Arbeitsquantität den Kostenaufwand bedingt.

Es kommt nur darauf an, die richtigen Einheiten und die den verschiedenen Fällen entsprechenden Quantitäten aufzufinden. Es gibt allerdings von den verschiedenen Bahnsystemen abhängige Leistungen, welche zum Voraus nicht genau zu bestimmen und daher mit möglichster Sorgfalt annäherungsweise zu schätzen sind.

	Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
	5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
I. Allgemeine Verwaltung.				
Diese Kosten können für alle Bahnverhältnisse als constante angenommen werden	1000	1000	1000	1000
II. Bahnaufsicht und Unterhaltung.				
a. Bahnaufsicht und kleine Unterhaltung incl. Reinigung der Bahn.				
Hauptsächlich der Bahnlänge proportional, theilweise aber von der Zahl der Züge, der Länge der Tunnel, von atmosphärischen Einflüssen und dem Oberbausystem abhängig	1500	2000	2500	2800
Dem complicirteren Oberbau mit Leitschienen wird durch einen Zuschlag von 500 Fr. genügend Rechnung getragen sein. Für die Strecke mit 7 %, obschon grösstentheils gedeckt, wurden wegen der grössern darüberfahrenden Bruttolast und der grössern Höhenlage weitere Fr. 300 zugesetzt.				
b. Unterhalt des Bahnkörpers.				
Ungefähr den Baukosten proportional	500	1500	1000	2000
c. Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues.				
Die betreffenden Kosten sind theils constant, theils von der auf den Schienen verrichteten Arbeit abhängig und zerfallen deshalb in verschiedene Unterabtheilungen:				
α. Beschotterung und Regulirung der Geleise. In Berücksichtigung der über die Bahn gehenden Bruttolasten, der Bahnkrümmungen und der erschwerten Regulirung durch die Leitschienen werden diese Kosten angesetzt zu	400	600	800	800
β. Erneuerung der Querschwellen. Bei einem Kosten von Fr. 9000 per Kilometer einfachen Geleises und bei zwanzigjähriger mittlerer Dauer ist nach 20 Jahren ein Kapital von Fr. 18000 per Kilometer Doppelgeleise erforderlich, demnach betragen die jährlichen Ausgaben bei einer Verzinsung zu 5 %				
$\frac{18000 \times 0.05}{(1.05)^{20} - 1} = 545$ oder rund	550	550	550	550
	2950	4650	4850	6150

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von

5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
2950	4650	4850	6150
2950	4650	4850	6150

γ. Eeneuerung der Schienen und Befestigungsmittel. Auf diese Kosten wird die Verschiedenheit der beiden Bahnsysteme einen wesentlichen Einfluss ausüben. Die Abnutzung der Schienen wird abgesehen von der Qualität des Eisens proportional dem Widerstande, welchen sie der Bewegung der darübergehenden Räder entgegensetzen, oder der Arbeit, welche durch den Contact der Räder und Schienen verrichtet wird, anzunehmen sein. Diese Arbeit, bestehend aus dem Product einer Kraft oder eines Widerstandes in den zurückgelegten Weg in der Richtung der Kraft, kann beim einfachen *Rollen der Räder* über die Schienen nur aus der Veränderung der oberflächlichen Gestalt der sich berührenden Theile herrühren und muss daher bei gehöriger Widerstandsfähigkeit des Materials ungeachtet des grossen Druckes vermöge der äusserst kleinen Formveränderung sehr gering sein; sie kann aber bei einem *Gleiten der Räder* auf den Schienen durch das Produkt der Adhäsion in die gegenseitige Verschiebung der sich berührenden Oberflächen einen bedeutenden Werth erreichen. Der Rollungswiderstand beträgt etwa $^1/_{2000}$ der rollenden Last, der Widerstand gegen das Gleiten aber je nach dem Zustande der Schienen $^1/_4$ bis $^1/_{10}$ des gleitenden Gewichtes. Wenn die Räder eines Trains bloss über die Schienen rollen würden, so betrüge der Bahnwiderstand ungefähr $^1/_2$ Kilogramm per Tonne; er beträgt aber in Wirklichkeit selbst auf horizontaler Bahn bedeutend mehr, folglich muss der grössere Widerstand von einem theilweisen Gleiten der Räder auf den Schienen herrühren. Dieser Bewegung steht bei dem gewöhnlichen Bahnsystem nur die veränderliche Adhäsion entgegen, welche alle horizontalen oder tangentialen Kräfte der Räder zu überwinden streben. Diese Kräfte müssen folglich auf die Grösse der gleitenden Bewegung influiren und als Maassstab für die zwischen den Schienen und Rädern entstehende Arbeit angenommen werden.

Bewegt sich ein Train durch die Kraft der Maschine, so äussert sich derjenige Theil der Kraft, welcher durch die Treibräder vermittelt wird und den sämmtlichen Widerständen mit Ausnahme der Maschinenreibung entspricht, tangential am Umfange derselben; ferner wirken alle Widerstände gegen die Rotation der

Wagenräder, als Axenreibung, Kurvenwiderstand etc. in gleicher Weise direct durch diese Räder. Ausser dem totalen Widerstande des Trains ohne die Reibung des Mechanismus der Locomotive, ist also der Widerstand der Wagen auf horizontaler Bahn in Rechnung zu bringen. Bewegt sich aber der Train durch die Schwere, so wird derselben bei gleichmässigem Gange durch sämmtliche Reibungswiderstände, die durch das Bremsen bewirkten inbegriffen, das Gleichgewicht gehalten. Für diese Widerstände, welche der Rotation der Räder entgegenwirken und sich als horizontale Kräfte äussern, kann daher die aus der Schwere resultirende Kraft gesetzt werden.

Durch Vergleichung der tangentialen Kräfte bei verschiedenen Bahnverhältnissen *nach gewöhnlichem System* wird demnach auf die verhältnissmässige Abnutzung der Schienen und Räder und die bezüglichen Kosten geschlossen werden können.

Für eine Bahn nach neuem System, bei welchem die Zugkraft nicht oder nur zum Theil durch die Adhäsion vermittelt wird, können aber die tangentialen Kräfte nur bis zu einer gewissen Grenze massgebend sein. Weder die Spiralräder, noch die damit gekuppelten gewöhnlichen Treibräder können auf den Schienen gleiten, wenigstens nicht über das Maass hinaus, welches durch Bahnkrümmungen und Abweichungen der Durchmesser dieser verschiedenen Räder bestimmt wird. Die tangentiale Kraft der Spiralräder wirkt in ähnlicher Weise auf die Leitschienen wie das Gewicht einer rollenden Masse. Die gleitende Bewegung der Räder auf den Schienen und der daraus folgende Bahnwiderstand ist deshalb von der Kraftentwickelung der Locomotive, also auch von Steigungsverhältnissen, grösstentheils unabhängig.

Kosten für die Thalbahn und Fundamentalpreis. Nach den Erfahrungen auf deutschen Eisenbahnen kann man annehmen, dass die mittlere Dauer der Schienen einer doppelspurigen Bahn bei einer jährlichen Frequenz von 1,000,000 Tonnen Bruttolast 20 Jahre beträgt. In der Berechnung der Baukosten werden für die Schienenlage Fr. 40,000 per Kilometer Doppelgeleise angesetzt. Zieht man hiervon den Werth der alten

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von

5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
2950	4650	4860	6150
2950	4650	4850	6150

Schienen zu Fr. 100 per Tonne oder zu Fr. 1400 per Kilometer ab, so bleibt ein Betrag von Fr. 26000, welcher nach 20 Jahren auszugeben ist. Die jährlichen Ausgaben betragen demnach bei einer Verzinsung zu 5 % $\frac{26000 \times 0.05}{(1.05)^{20}-1} = 788$ Fr. Für 1,015,000 Tonnen Bruttolast der Thalbahn ergeben sich demnach als jährliche Erneuerungskosten $788 \times 1.015 =$ Fr. 800 800

Da die Abnutzung den Kräften proportional zu setzen ist, welche tangential am Umfange der Räder wirken, so fragt es sich, was nach diesem Erfahrungsresultat z. B. eine Kraft von 1000 Kilogr. für den Weg von einem Kilometer kostet.

Die Personenzüge auf der Thalbahn, für welche $L = 36$, $T = 80$, $V = 30$, $R = 2000$ und $f = 0.175$ zu setzen ist, erzeugen beim Aufwärtsfahren nach (121) und (124) wenn E unberücksichtigt gelassen wird

eine Tangentialkraft der Triebräder von	1100 Kilogr.
„ „ „ Wagenräder „	274 „
beim Abwärtsfahren erzeugt die Schwerkraft $116 \times 5 =$	580 „
die mittlere Kraft beträgt demnach . .	977 Kilogr.

Bei den Güterzügen ist $L = 45$, $T = 175$, $V = 25$ zu setzen.

Daraus ergibt sich beim Aufwärtsfahren eine Kraft der Treibräder von . .	1945 Kilogr.
„ Wagenräder „ . .	583 „
abwärts erzeugt die Schwere .	1100 „
im Mittel:	1814 Kilogr.

Für die ganze Frequenz findet man hieraus in 1000 Kilogrammen eine Kraftentwicklung

durch Personenzüge von	3226×0.977	= 3150
„ Güterzüge „	2920×1.814	= 5296
im Ganzen von		8456 Tonnen.

Es kostet demnach die Kraft von 1000 Kilogr. per Kilom.: $\frac{800}{8446} = 0.095$ Fr.

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von

5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
2950	4650	4850	6150

Bergbahn mit 25 ‰.

Personenzüge.

Aufwärts, Kraft der Treibräder .	3435	Kilogr.
„ „ Wagenräder	266	„
Abwärts, Schwerkraft	2900	„
Mittlere Kraft:	3300	Kilogr.

Güterzüge.

Aufwärts, Kraft der Treibräder .	7360	
„ „ Wagenräder	474	
Abwärts, Schwerkraft	6150	
Mittlere Kraft:	6992	Kilogr.

Der Gesammtkraftaufwand beträgt in 1000 Kilogr.

für Personenzüge	2496×3.3	=	8237
„ Güterzüge	3650×6.992	=	25520
im Ganzen:			33757 Tonnen.

Nach obigem Einheitspreise kostet demnach die Erneuerung des eisernen Oberbaues auf dieser Bahn:

$33757 \times 0.095 =$ Fr. 3200 3200

Zur Controle dieser Berechnung kann angeführt werden, dass nach den bisherigen Erfahrungen die mittlere Dauer der Schienen auf der Sömmeringbahn bei ungefähr gleichen Bruttolasten und Bahnverhältnissen etwa 7 Jahre ausmacht, was für gleiche Anlagekosten mit einer jährlichen Ausgabe von Fr. 3200 übereinstimmt.

Bergbahn nach dem neuen System.

Die Widerstände, auf welche die Abnutzung der Schienen einwirken, bestehen in dem Widerstande der Treibräder, den eine gewöhnliche Locomotive bei der Bewegung auf horizontaler Bahn erzeugt, wenn sie keinen Train zieht, in den Widerständen gegen die Rotation der Wagenräder und ferner in dem Widerstande, den die Fehler des combinirten Rädersystems verursachen, welcher mit E bezeichnet und durch (119) bestimmt wurde. Wenn K die Summe dieser Widerstände bezeichnet, so findet man nach den entsprechenden Werthen auf Seite 49, für $V = 20$, $R = 600$ und $f = 0.175$

$$K = 3.36\ L + 3.72\ T + E$$

und nach (122):

$$E = (0.011 + 0.125\,f)\ N + 176\,f.$$

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von

5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
3750	4650	4850	6150
3750	7850	4850	6150

Nimmt man, um den Werth von E nicht zu klein anzuschlagen $f = 0.25$ an, so wird

$$E = 0.042\ N + 44.$$

Der Druck N auf die Leitschienen ist nach (123) zu berechnen; derselbe wächst, wenn f kleiner wird. Zur grössern Sicherheit gegen ein zu kleines Resultat, werde hier $f = 0.10$ gesetzt, somit ergibt sich:

$$N = \frac{\frac{W}{2} - 1750}{0.76}$$

Setzt man zur Bestimmung der durch die Treibräder zu überwindenden Widerstände W nach (124) und (121) in diesen Gleichungen, $R = 600$ und $V = 20$, so folgt:

$$W = 3.6\ L + 4.27\ T + 1000\ sin\ \alpha\ (L + T) + 68$$

und für $V = 14$

$$W = 2.77\ L + 4.02\ T + 1000\ sin\ \alpha\ (L + T) + 61$$

Wird beim Abwärtsfahren für das Maximum von W die aus der Schwere resultirende Kraft angenommen, so ergibt sich

Auf der Bahn mit 4 %

Für Personenzüge aufwärts $W = 4736$
„ „ abwärts „ $= 4240$
„ „ im Mittel $W = 4488$ Kilogr.

Für Güterzüge aufwärts $W = 7764$
„ „ abwärts „ $= 7040$
„ „ im Mittel $W = 7402$ Kilogr.

Bestimmt man aus diesen Werthen für W die Grössen N und E, so ergibt die Gleichung für K:

$K = 455$ Kilogr. für Personenzüge und
$K = 800$ „ „ Güterzüge.

Hieraus folgt ein Gesammtwiderstand in 1000 Kilogr.
für Personenzüge von $2496 \times 0.455 = 1136$
„ Güterzüge „ $4238 \times 0.8 = 3790$
im Ganzen von: 4926 Tonnen.

Auf diesen Widerstand obigen Einheitspreis von 0.095 Fr. angewandt, gibt als Erneuerungskosten der Schienen dieser Abtheilung von 4 % Steigung in runder Summe . . . . . .

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
3750	7850	4850	6150
		500	
3750	7850	5350	6150

Für die Abtheilung mit 7 % findet man
für Personenzüge aufwärts W = 7862
„ „ abwärts „ = 7420
„ „ im Mittel W = 7641 Kilogr.
für Güterzüge mit 2 Maschinen
aufwärts W = 15724
abwärts „ = 14840
im Mittel W = 15282 Kilogr.

Daraus folgt für Personenzüge K = 548 Kilogr.
„ Güterzüge K = 1154 „

und ein Gesammtwiderstand in 1000 Kilogr.
für Personenzüge von 2496 × 0.548 = 1368
„ Güterzüge „ 4238 × 1.154 = 4891
im Ganzen von: 6259 Tonnen.

Hieraus ergeben sich als Erneuerungskosten der Schienen
6259 × 0.095 = 595 Fr. oder rund . . .

Die Beschränkung des Gleitens der Räder auf den Schienen hat also den grossen Einfluss, dass die Abnutzung mit Inbegriff der Leitschienen sogar auf 4 bis 7 % Steigung nach dem neuen System weniger ausmacht, als bei ausschliesslicher Vermittlung der Zugkraft durch die Adhäsion auf gewöhnlichen Bahnen mit 5 ‰ mittlerer Steigung.

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
3750	7850	5350	6150

b. Wagendienst.

1. *Besoldung und Bekleidung des Zugpersonals, Beleuchtung und Heizung der Wagen.* Auf diese Kosten hat das Bahnsystem insofern einen Einfluss, als dieselben der Fahrzeit proportional anzusetzen sind. Auf der Thalbahn sind im Durchschnitte für alle Züge 30 Kilom. per Stunde zu rechnen; auf der Bergbahn mit 25 ‰ können für Personenzüge 25 und für Güterzüge 18 Kilom. gerechnet werden, mithin im Durchschnitt $\frac{2496 \times 25 + 3650 \times 18}{6146} = 20$ Kilom. Auf der Bahn mit 4 % sind für Personenzüge 20, für Güterzüge 14 anzunehmen, also im Mittel $\frac{2496 \times 20 + 4238 \times 14}{6734} = 16$ Kilom. Auf der Strecke mit 7 % können die Personenzüge 15, die Güterzüge 12 Kilom. zurücklegen, im Mittel $\frac{2496 \times 15 + 4238 \times 12}{6734} = 13$ Kilom. Die beiden letztern Geschwindigkeitsverhältnisse werden sich voraussichtlich in der Wirklichkeit etwas günstiger gestalten, indem beim Abwärtsfahren auf eine grössere Geschwindigkeit zu rechnen sein dürfte.

Werden bei der Thalbahn die Kosten dieser Rubrik zu 0.25 Fr. per Zugkilometer angesetzt, so ergeben sich für die verschiedenen Bahnstrecken nach obigen Verhältnissen folgende Beträge:

Auf der Bahn mit 5 ‰ 6146×0.25 1540
„ „ „ „ 25 ‰ $6146 \times 0.25 \times \frac{30}{20}$ . . 2300
„ „ „ „ 4 % $6734 \times 0.25 \times \frac{30}{16}$ . . 3160
„ „ „ „ 7 % $6734 \times 0.25 \times \frac{30}{13}$ . . 3660

2. *Unterhalt der Wagen.* Diese Kosten betragen für die Thalbahnen etwa Fr. 0.006 per Axenkilometer, wovon etwa 0.2 Centimen auf die Räder fallen. Für den von den Bahnverhältnissen unabhängigen Theil hat man daher:

von 195,000 Wagenaxenkilom. Fr. 195000×0.004 . 780 780 780 780

Die Abnutzung der Räder ist dem Widerstande, welchen sie dem Rollen auf den Schienen entgegensetzen, proportional anzunehmen. Mit Berücksichtigung der Kurven und eines mittlern Reibungscoefficienten von

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
250	250	250	250
1540			
	2300		
		3160	
			3660
780	780	780	780
2570	3330	4190	4690

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
2570	3330	4190	4690

$f = 0.175$ beträgt auf der Thalbahn, wo $V = 30$, dieser Widerstand auf- und abwärts 3.42 Kilogr. per Tonne. Dazu kommt beim Abwärtsfahren der Widerstand durch das Bremsen von 5—3.42 = 1.58 Klgr. Im Mittel leisten demnach die Räder einen Widerstand von 4.21 Kilogr. per Tonne oder $4.21 \times 4 = 16.84$ Kilogr. per Axe zu 4 Tonnen Bruttolast.

1000 Kilogr. Widerstand kosten demnach:

$$\frac{2}{16.84} = 0.118 \text{ Fr.}$$

Auf der Thalbahn ergibt sich daher ein Betrag von

$195 \times 16.84 \times 0.118 = 387$ Fr. oder . . 390

Auf der Bahn mit 25 ‰ beträgt der Widerstand der Räder bei $V = 20$ auf- und abwärts 3.72 Kilogr. per Tonne; dazu der Widerstand durch Bremsen von 25—3.72 = 21.28 Kilogr. gerechnet, ergibt einen mittlern Widerstand von 14.36 Klgr. per Tonne oder 57.44 Klgr. per Axe. Die Kosten betragen demnach auf dieser Strecke:

$195 \times 57.44 \times 0.118 =$ 1320

Die Bremsklötze selbst tragen ebenfalls zur Abnutzung bei, wenn auch in geringerem Maasse als die Schienen, weil sie gewöhnlich von Holz sind. Wird in Berücksichtigung der Bildung eines Schmirgels durch Staub und Eisen diese Wirkung zu $^1/_3$ der Schienenreibung angesetzt, so stellt sich der Kostenbetrag auf:

$$10.64 \times 4 \times 195 \times \frac{0.118}{3} = \text{. . . . .} \quad 330$$

Die Kosten für Abnutzung der Räder betragen also hier etwa das Vierfache, wie auf der Thalbahn, was mit den Erfahrungen ebenfalls übereinstimmt.

Bei dem neuen Bahnsystem werden die Wagenräder nicht gebremst; man hat daher einfach den Widerstand wie auf horizontaler Bahn in Rechnung zu bringen, nämlich

$3.72 \times 4 \times 195 \times 0.118 =$ 350 350

c. Maschinendienst.

1. *Besoldung und Bekleidung des Maschinenpersonals.* Auf der Thalbahn sind diese Kosten zu 0.20 Fr. per Lokomotivkilom. anzusetzen und auf den Bergbahnen im Verhältniss zur Fahrzeit zu vergrössern.

2960	4980	4540	5040

	Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
	5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
	2960	4980	4540	5040
Darnach ergeben sich für die Thalbahn . . . . 6146 × 0.2	1230			
„ „ Bergbahn mit 25 ‰ 9796 × 0.2 × $\frac{30}{20}$ . .		2490		
„ „ „ „ 4 % 6734 × 0.2 × $\frac{30}{16}$ . .			2530	
„ „ „ „ 7 „ 10972 × 0.2 × $\frac{30}{13}$ . .				5070

2. *Brennmaterial.* Der Verbrauch an Brennmaterial steht im Verhältniss der Leistung des Dampfes in den Cylindern. Ausser dem Widerstande des Zuges ist der atmosphärische Gegendruck auf die Kolben in Rechnung zu bringen. Dieser Gegendruck nach der Formel $p \cdot \frac{d^2 \cdot l}{D}$, in welcher p den Luftdruck per Quadrat-Centimeter, d den Kolbendurchmesser, D den Durchmesser der Triebräder, l die Länge des Kolbenschubes in Centimetern bezeichnet, auf den Widerstand des Trains reducirt, beträgt annähernd

bei Personenzugsmaschinen nach gewöhnlichem System . . . . . 700 Kilogr.
bei Güterzugsmaschinen nach gewöhnlichem System . . . . . 1200 „
bei den Maschinen nach neuem System 1900 „

Die schweiz. Nordostbahn verbraucht durchschnittlich per Locomotivkilom. 7.6 Kilogr. Brennmaterial. Die mittlere Axenzahl der Züge beträgt 28, mithin das Gewicht annähernd 100 Tonnen. Diesen Zügen entspricht auf 5 ‰

ein Widerstand aufwärts von	1810	Kilogr.
„ „ abwärts „	190	„
„ „ im Mittel „	1000	Kilogr.
und ein mittlerer Gegendruck von	950	„
also ein Totalwiderstand von	1950	Kilogr.

Per 1000 Kilogramm Widerstand werden demnach $\frac{7.6}{1.95}$ = 3.9 oder 4 Kilogr. Brennmaterial verbraucht.

Die effektive Leistung beträgt bei einer Geschwindigkeit von 30 Kilom. per Stunde oder 8.33^m per Secunde $\frac{1000 \times 0.86 \times 8.33}{75}$ = 95.5 Pferdekräfte. Auf eine effective Pferdekraft kommen daher

$$\frac{7.6 \times 30}{95.5} = 2.39 \text{ Kilogr. Brennmaterial.}$$

	4190	7920	7070	10110

Es kostet das Kilogr. Brennmaterial bei dieser Bahn mit Inbegriff des Schmiermaterials 2.8 bis 2.9 Centimen. Für die Gotthardbahn kann man des grössern Transportes wegen für das Kilogr. 3.2 Cent. rechnen.

Thalbahn mit 5 ‰.

Widerstand der Personenzüge mit Gegendruck von 700 Klgr.

aufwärts	2238 Kilogr.
abwärts	890 „
im Mittel	1564 Kilogr.

Widerstand der Güterzüge mit 1200 Kilogr. Gegendruck

aufwärts	3804 Kilogr.
abwärts	1225 „
im Mittel	2515 Kilogr.

Die Quantität Brennmaterial für die ganze Bewegung beträgt daher:

für Personenzüge $3226 \times 1.564 \times 4 =$	20182 Kilogr.
„ Güterzüge $2920 \times 2.515 \times 4 =$	29375 „
im Ganzen	49557 Kilogr.
à 0.032 Fr.	1590

Bergbahn mit 25 ‰.

Widerstand der Personenzüge aufwärts .	4955 Kilogr.
Rechnet man beim Abwärtsfahren einen Dampfverlust für 3 Kilogr. Brennmaterial, so entsprechen diese einem Drucke von	750 „
Mittlerer Widerstand . .	2853 Kilogr.

Widerstand für die Güterzüge mit zwei Maschinen,

aufwärts	11380 Kilogr.
abwärts	1500 „
im Mittel	6440 Kilogr.

Der Verbrauch an Brennmaterial beträgt daher:

für Personenzüge $2496 \times 2.853 \times 4 =$	28480 Kilogr.
„ Güterzüge $3560 \times 6.440 \times 4 =$	91706 „
im Ganzen	120186 Kilogr.
à 0.032 Fr.	3850

Bergbahn mit 4 %.

Widerstand der Personenzüge mit 1900 Kilogr. Gegendruck

aufwärts	7667 Kilogr.
abwärts (für einen Verlust von 4 Kilogr.)	1000 „
im Mittel	4334 Kilogr.

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von

5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
4190	7920	7070	10110
5780	11770	7070	10110

	Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
	5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
	5780	11770	7070	10110
Widerstand der Güterzüge aufwärts . . 11153 Kilogr. Für Verlust von 5 Kilogr. abwärts . . 1250 „ im Mittel . 6202 Kilogr.				
Verbrauch an Brennmaterial für Personenzüge 2496 × 4.334 × 4 = 43266 „ Güterzüge 4238 × 6.202 × 4 = 105440 im Ganzen Kilogr. 148706				
à 0.032 Fr.			4750	
Bergbahn mit 7 %. Widerstand der Personen- und Güterzüge per Maschine aufwärts 9297 + 1900 = 11197 Kilogr. abwärts . . . . . 1250 „ im Mittel . . . . . 6224 Kilogr.				
Verbrauch an Brennmaterial für 10972 Kilometer 10972 × 6.224 × 4 = 273158 à 0.032 Fr.				8740
Für Holzschneiden, Wasserpumpen etc. 7 % des Brennmaterials	130	270	330	610
3. *Unterhalt der Maschinen.* Bei der Nordostbahn kostet der regelmässige Unterhalt der Maschinen per Locomotivkilom. 7.5—8 Cts. Rechnet man mit Erneuerung der Maschinen 16 Cts. per Locomotivkilom. bei der Thalbahn, so kann man annehmen, dass 8 Cts. auf Reparaturen, welche von der Arbeit unabhängig sind, 5 Cts. auf die Räder und 3 Cts. auf andere, von der Arbeit abhängige Theile fallen.				
a. Reparaturen, welche von der Arbeit unabhängig sind:				
Auf der Thalbahn . . . . 6146 × 0.08 rund	500			
„ „ Bergbahn mit 25 ‰ 9796 × 0.08 „		790		
„ „ „ „ 4 % 6734 × 0.08 „			540	
„ „ „ „ 7 % 10972 × 0.08 „				880
b. Reparaturkosten der Räder.				
Auf der Thalbahn 6146 × 0.05	310			
Um bei den andern Bahnen den verhältnissmässigen Betrag zu finden, hat man zur Bestimmung des Einheitspreises auf der Bahn mit 5 ‰ mittlerer Steigung: bei Personenzügen die Wirkung der Treibräder aufwärts . 1100 Kilogr. abwärts . 180 „ im Mittel . 640 Kilogr.				
	6720	12830	12690	20340

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
6720	12830	12690	20340

bei Güterzügen aufwärts . 1945 Kilogr.
abwärts, Wirkung der Schwere 225 „
im Mittel . 1085 Kilogr.

Die mittlere Wirkung ist demnach:
$\frac{3226 \times 640 + 2920 \times 1085}{6146} = 852$ Kilogr. Es kosten demnach 1000 Kilogr. Widerstand $\frac{50}{852} = 0.059$ Fr.
Dieser geringere Preis gegenüber dem entsprechenden für Wagenräder ist wahrscheinlich eine Folge des bessern Materials bei Treibrädern.

Auf der Bahn von 25 ‰ hat man folgende Kräfte der Treibräder:

bei Personenzügen aufwärts . . . 3435 Kilogr.
„ „ abwärts . . . 900 „
im Mittel . . . 2161 Kilogr.

bei Güterzügen mit zwei Maschinen
aufwärts . . . 7360
abwärts . . . 2250
im Mittel . . . 4805 Kilogr.

Demnach von Personenzügen
$2496 \times 2.168 = 5411$
„ „ Güterzügen
$3650 \times 4.805 = 17538$
im Ganzen . . 22949 Tonn.

Hieraus ergeben sich zu obigem Preise:
$22949 \times 0.059 = 1354$ Fr. oder rund . . . 1360

Die Wirkung der Bremsklötze wie bei den Wagenrädern zu $^1/_3$ der Wirkung der Schienen angeschlagen, beträgt

bei Personenzügen $\frac{25-9.6}{2} \times \frac{36}{3} = 92.4$

bei Güterzügen $2 \times \frac{25-9.6}{2} \times \frac{45}{3} = 231$

also im Ganzen in 1000 Kilogr. $= 2496 \times 0.0924 + 3650 \times 0.231 = 1110$ à $0.059 = 65$ oder rund . 70

Für die Abnutzung der Treibräder in Verbindung mit Spiralrädern hat man gleich wie bei der Abnutzung der Schienen nur den Bahnwiderstand der Locomotive wie auf horizontaler Bahn und den Widerstand *E*, welcher

6720	14260	12690	20340

aus den Constructionsfehlern hervorgeht, zu berücksichtigen, nämlich $K' = 3.36\ L + E$, welcher Werth nach der frühern Berechnung

auf der Bergbahn mit 4 %
bei Personenzügen . . . . . 195 Kilogr.
„ Güterzügen . . . . . 280 „
beträgt. Daraus folgt eine Gesammtwirkung in 1000 Klgr.
von $2496 \times 0.195 + 4238 \times 0.280 = 1673$ à 0.059 . .

Auf der Bahn mit 7 %
beträgt K' bei Personenzügen . . . . 288 Kilogr.
bei Güterzügen . . . . . 634 „
und die Gesammtwirkung ist
$2496 \times 0.288 + 4238 \times 0.634 = 3404$ à 0.059 Fr. .

c. Von der Arbeit der Cylinderkolben abhängige Kosten.

Thalbahn.
Die Annahme von 0.03 Fr. per Kilom. ergibt
$6146 \times 0.03 = 184.3$, rund 190
Der entsprechende Widerstand beträgt
für Personenzüge . . . . . 864 Kilogr.
„ Güterzüge . . . . . 1382 „
im Ganzen $3226 \times 864 + 2920 \times 1382 = 6834704$ Kilogr.
1000 Kilogr. Druck kosten demnach $\frac{184.3}{6834} = 0.0270$ Fr.

Bergbahn mit 25 %.
Widerstand der Personenzüge aufwärts . 4255 Kilogr.
abwärts, Maschinenreibung 3.57×36 . 128 „
im Mittel . . . . . 2192 Kilogr.
Widerstand der Güterzüge mit zwei Maschinen
aufwärts . . . . . 8980 Kilogr.
abwärts $2 \times 3.57 \times 45 =$ 320 „
im Mittel . . . . . 4650 Kilogr.
Totalwiderstand in 1000 Kilogr.:
$2496 \times 2.192 + 3560 \times 4.65 = 22{,}015$
à 0.027 = 594, rund 600

Bergbahn mit 4 %.
Widerstand der Personenzüge aufwärts . 5767 Kilogr.
abwärts, mit Gegendampf gebremst . 3222 „
im Mittel . . . . . 4495 Kilogr.

Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
5 %₀₀	25 %₀₀	4 %	7 %
6720	14260	12690	20340
		100	
			200
190			
		600	
6910	14860	12790	20540

	Kosten per Kilometer in Franken für Steigungen von			
	5 ‰	25 ‰	4 %	7 %
	6910	14860	12790	20540
Widerstand der Güterzüge aufwärts . . 9253 Kilogr. abwärts . . 5459 „ im Mittel . 7356 Kilogr. Gesammtwiderstand in 1000 Kilogr.: 2496 × 4.495 + 4238 × 7.356 = 42391 à 0,027 = 1145, rund			1150	
Bergbahn mit 7 %. Widerstand der Personenzüge und der Hälfte der Güterzüge aufwärts . . . 9297 Kilogr. abwärts . . . 6080 „ im Mittel . . . 7688 Kilogr. Gesammtwiderstand in 1000 Kilogr.: 10972 × 7.688 = 84353 à 0.027 = 2277 . .				2280
	6910	14860	13940	22820
V. Bahntelegraphie und Verschiedenes.	500	500	500	500

Zusammenstellung.

I. Allgemeine Verwaltung	1000	1000	1000	1000
II. Bahnaufsicht und Unterhaltung	4150	8150	5650	7050
III. Expedition	4000	3000	3000	3000
IV. Transportdient	6910	14860	13940	22820
V. Bahntelegraphie und Verschiedenes	500	500	500	500
Total:	16560	27510	24090	34370

In dem erwähnten Gutachten für die Gotthardbahn werden durch unmittelbare Anwendung der Ergebnisse anderer analoger Bahnen die Betriebskosten der Thalbahn zu Fr. 16100 und für Flüelen-Biasca zu Fr. 27100 berechnet. Theilweise auf ganz anderem Wege, nämlich durch Werthung der Arbeitsmengen in Bezug auf die Hauptposten, Bahnunterhaltung und Transportdienst bin ich zu einem wenig verschiedenen Resultate gekommen, was für die Richtigkeit der angewandten Prinzipien

im Allgemeinen spricht. Deshalb mögen auch die Ergebnisse des neuen Systems, für welche keine unmittelbaren Erfahrungsresultate zu Grunde gelegt werden konnten, Vertrauen verdienen.

Das auffallende Resultat, dass der Betrieb einer Bahn nach dem neuen System von 4 % Steigung, weniger kostet, als der Betrieb nach bisherigem System mit 2.5 % Steigung, findet seine Erklärung in dem grösseren Nutzeffect der Dampfkraft und in der vortheilhafteren Kraftvermittelung durch Spiralräder, welche die Abnutzung sehr bedeutend reducirt.

Die Betriebsergebnisse für die drei Abtheilungen von Gebirgsbahnen stützen sich auf die Annahme der Maximalsteigungen für die ganze Länge. Die entsprechenden Strecken der Gotthardprojekte haben aber nach den angegebenen Bahnelementen durchschnittlich beträchtlich geringere Steigungen; es dürfte deshalb eine Reduction der wirklichen Kosten gegenüber den berechneten stattfinden. Um sicher zu gehen, sollen aber die obigen Ergebnisse in Rechnung gezogen werden. Darnach stellen sich für Flüelen-Biasca folgende mittlere Betriebskosten heraus:

I. *Projekt nach bisherigem System.*

Thalbahn.	Kilom. 5.6	à 16,560 =	92,736
Bergbahn.	» 84.7	à 27,510 =	2,330,097
Flüelen-Biasca	Kilom. 90.3,	im Ganzen Fr.	2,422,833
»	»	per Kilometer Fr.	26,830

II. *Projekt nach neuem System.*

Thalbahn.	Kilom. 21.49	à 16,560 =	355,874
Bergbahn von 4 %	« 34.7	à 24,090 =	835,023
Bergbahn von 7 %	« 32.6	à 34,370 =	1,120,462
Flüelen-Biasca	Kilom. 89.24,	im Ganzen Fr.	2,312,259
»	»	per Kilometer Fr.	25,910

Die Betriebskosten einer Bahn nach dem neuen System über den Gotthard von Flüelen bis Biasca mit Steigungen bis 7 % und einem Höhenübergange von 1849 Meter betragen also höchstens so viel, als nach bisherigem Projekte mit 25 per mille grösster Steigung und einer grössten Erhebung von 1137 Meter.

Fahrzeit.

Für Schnellzüge kann auf der Thalbahn der in einer Stunde zurückgelegte Weg zu 40 Kilometern mit Aufenthalt in den Stationen, auf der Bergbahn mit 25 $^0/_{00}$ zu 25 Kilometern gerechnet werden. Nach der Tabelle (131) beträgt die Geschwindigkeit der Züge von 70 Tonnen auf der Steigung von 4 $^0/_0$ 22 Kilom. und auf der Strecke mit 7$^0/_0$ 14 Kilom. per Stunde; auf- und abwärts dürfen für die letztere Strecke wenigstens 15 Kilom. angenommen werden. Darnach berechnet sich die Fahrzeit für die beiden Projekte Flüelen-Biasca wie folgt:

I. *Projekt mit 25 $^0/_{00}$.*

Thalbahn, Kilom. 5.6, Fahrzeit $= \frac{5.6}{40} = 0.14$ Stunden

Bergbahn » 84.7, » $= \frac{84.7}{25} = 3.39$ »

Flüelen-Biasca, Fahrzeit im Ganzen 3.53 Stunden.

II. Projekt nach neuem System.

Thalbahn Kilom. 21.49, Fahrzeit $= \frac{21.49}{40} = 0.537$ Stunden.

Bergbahn 4$^0/_0$ » 34.7, » $= \frac{34.7}{22} = 1.577$ »

» 7$^0/_0$ » 32.6, » $= \frac{32.6}{15} = 2.173$ »

Flüelen-Biasca, Fahrzeit im Ganzen 4.287 Stunden.

Da die mittlere Steigung bei beiden Projekten bedeutend kleiner ist als die Maximalsteigung, so sind in obigen Fahrzeiten die Aufenthalte in den Stationen als inbegriffen zu betrachten. Das Verhältniss der mittleren zur grössten Steigung ist aber bei dem zweiten Projekte noch merklich grösser als beim ersten, die Differenz beträgt daher höchstens 0.75 Stunden oder 45 Minuten, welche Verzögerung eine Folge des grösseren Höhenüberganges ist. Dieser Zeitverlust auf den ganzen Weg bezogen, welchen die transitirenden Personen und Güter zurücklegen, ist gegenüber den anderen Vortheilen kaum in Anschlag zu bringen. Obschon die Bahn auf der Höhe des Gebirges zu decken ist, so kann diess doch grösstentheils so geschehen, dass weder Luft noch Licht, noch die Aussicht gänzlich abgehalten wird, während die Fahrt durch einen 15 Kilom. langen ununterbrochenen Tunnel in dieser Beziehung höchst

unangenehm ausfallen müsste. Dieses Verhältniss allein dürfte den grösseren Zeitaufwand vollständig ausgleichen.

Baukosten.

Die Baukosten meines neuen Projektes Flüelen-Biasca für zweispurigen Unterbau und Oberbau, einschliesslich des Betriebsmaterials, betragen nach detaillirtem Voranschlage und nach den gleichen Grundlagen der bisherigen Projekte berechnet per Bahnkilometer Fr. 847,825 oder im Ganzen *Fr. 75,660,580.*

Bei dieser Berechnung wurden, die grösste Solidität in's Auge fassend, für die höhern Partien der Bahn zur Sicherung des Betriebes im Winter Tunnel oder gemauerte Ueberwölbungen vorgesehen, welche Schutzbauten auf grosse Strecken durch ein wohlfeileres Deckungsmittel zu ersetzen sein dürften. Von jener Summe fallen 10 Millionen auf den 4.8 Kilom. langen Gotthardtunnel, der auf die ganze Länge schachtbar ist und für welchen 5 Jahre Bauzeit mit Inbegriff von einem Jahre für Vorbereitung hinreicht. Bei der Annahme einer Bauzeit von 4 Jahren für die übrige Bergbahn und von 3 Jahren für die Thalbahn und einer gleichmässigen Vertheilung der Baukosten auf die einzelnen Baujahre in der Weise, dass der erste Theil nach Ende des ersten Jahres zahlbar ist, ergeben sich mit Berechnung der Verzinsung zu 5% folgende Kosten:

Baukosten ohne Verzinsung	Fr.	75,660,580
Zinsen für den Bau des Alpentunnels . .	»	1,052,000
» » » » der übrigen Bahnen	»	4,783,890
Total der Baukosten mit Verzinsung . .	Fr.	81,496,470

Das von der italienischen Alpenbahncommission adoptirte Projekt Flüelen-Biasca kostet ohne Verzinsung während der Bauzeit

Fr. 125,890,767

Von dieser Summe fallen auf den Alpentunnel Fr. 68.028.000 mit 11 Jahren Bauzeit. Zinsen für den Bau dieses Tunnels . . . . . Fr. 19,796,140

Zinsen für den Bau der übrigen Bahn zu 4 Jahren Bauzeit . . . . . Fr. 4,484,363

Total der Baukosten mit Verzinsung . . . . . Fr. 150,171,270

Die Differenz der Baukosten beträgt daher zu Gunsten des neuen Projektes

Fr. 68,674,800.

Mit dieser grossen Ersparniss an Baukosten ist, wie nachgewiesen wurde, voraussichtlich keine grössere Auslage für den Betrieb verbunden, wohl aber der nicht leicht durch Zahlen genau zu bestimmende, aber gewiss sehr hoch anzuschlagende Gewinn von wenigstens 6 Jahren Bauzeit sowohl hinsichtlich der Beschaffung des Kapitals, als der entsprechenden frühern Benutzung der Bahn.

Rentabilität.

Die commerciellen Experten für die Gotthardbahn haben nachgewiesen, dass das Aktienkapital, nämlich die Hälfte der Baukosten, bei Verzinsung des Obligationskapitals zu 5 % für das ganze Bahnnetz von Luzern und Zug nach Locarno und Camerlata 5.46 % bis 7.15 %, je nach der Annahme einer durchgehends oder bloss theilweise zweispurigen Bahn rentiren würde, wenn dem Unternehmen eine Subvention von 84 Millionen zu Theil würde. Bei dieser Berechnung wurde aber nach einem frühern Voranschlage für die Baukosten der Strecke Flüelen-Biasca mit Inbegriff der Verzinsung während der Bauzeit die Summe von Fr. 139,008,000 anstatt Fr. 150,171,270 vorausgesetzt. Da jene Summe die Kosten von Fr. 81,496,470 für das neue Projekt um Fr. 57,511,530 übersteigt, so würde eine Subvention von Fr. 26,500,000 für die Bahn nach dem neuem System zu einem gleichen Rentabilitätsergebnisse des Unternehmens führen.

Eine solche Subvention sollte leicht zu finden sein. Der Bruttoertrag von Fr. 48000 per Kilometer des ganzen mit der Gotthardbahn zusammengefassten Netzes, welcher der Rentabilitätsberechnung zu Grunde liegt, wurde grösstentheils aus dem Transitverkehr vom Auslande her berechnet. Dieser Transit muss, wo er auch über die Schweizergrenze gehen mag, ungefähr 100 Kilometer der schweizerischen Bahnen bis zur Gotthardbahn durchlaufen. Jene Subvention von Fr. 26,500,000 entspricht zu 5 % einer jährlichen Ausgabe von Fr. 1,325,000 oder auf jene 100 Kilom. vertheilt von Fr. 13250 per Kilometer. Die durch Erstellung der Gotthardbahn erzielten grösseren Reineinnahmen auf den angrenzenden Linien müssten also, um einen solchen Beitrag rechtfertigen zu können, wenigstens eben so gross sein, was bei 43 % Betriebskosten einer grössern Bruttoeinnahme von Fr. 23300 per Kilom. entspricht. Vertheilt sich dieser Verkehr auf mehrere Zweige, so müsste die Summe der Mehreinnahmen auf allen zusammen den gleichen Betrag erreichen, von zwei Linien z. B. müsste jede eine grössere Brutto-

einnahme von Fr. 11650 oder eine grössere Reineinnahme von Fr. 6625 erhalten, was bei der angenommenen Bewegung über den Gotthard ausser allem Zweifel liegt.

Bei einer einzigen schweizerischen Alpenbahn dürfte demnach der Ausfall für die kostspielige Gebirgsstrecke durch die Mehreinnahme der angrenzenden Thalbahnen reichlich gedeckt werden. Damit ist aber nicht gesagt, dass eine anderweitige Subvention auf keinen Fall hin gerechtfertigt und nothwendig sein könne. Der Gesammtbetrag der aus dem Unternehmen hervorgehenden direkten und indirekten Einnahmen könnte, entgegen aller Wahrscheinlichkeit, geringer ausfallen, als vorgesehen wurde; sogar die Befürchtung einer solchen Eventualität könnte das zur Ausführung nöthige Kapital zurückhalten und eine grössere Garantie erfordern. Ferner ist die Möglichkeit des Zustandekommens einer zweiten und sogar einer dritten schweizerischen Alpenbahn in's Auge zu fassen. Der Gesammtverkehr würde nicht im Verhältniss der Anzahl solcher Bahnen wachsen; es würde sich der Rayon für den Transit zwar erweitern, aber nicht auf das Doppelte, beziehungsweise Dreifache. Der daraus resultirende Ausfall an Einnahmen zur Erzielung einer gleichen Rentabilität müsste aus andern Hülfsquellen ergänzt werden. Eine einlässliche Untersuchung einer solchen Entwickelungsfähigkeit liegt ausserhalb meines nächsten Zweckes; dennoch mag es am Platze sein, einen flüchtigen Blick auf die Faktoren zu werfen, welche die erforderlichen Grundlagen dazu bilden.

Angenommen die Centralbahn, die Nordostbahn und die Vereinigten Schweizerbahnen bildeten ein einziges Unternehmen und es würde anstatt der Gotthardbahn allein noch die Bahn von Chur über den Lukmanier nach Biasca von 110 Kilom. Länge, oder die kostspieligere, aber für den Transit um 23 Kilom. kürzere und 103 Kilom. lange Linie über den Bernhardin zum Anschluss an die Gotthardbahn bei der Moesabrücke gebaut und diese Bahn koste mit Verzinsung während der Bauzeit ebenfalls Fr. 81,500,000 wie Flüelen-Biasca, so würde es sich fragen, wie viel von diesem grössern Kapital durch die Mehreinnahmen gedeckt würde. Schätzt man die Bruttoeinnahmen für den internen Verkehr dieser zweiten Gebirgsbahn, welcher der Gotthardbahn nicht zufallen würde, im Verhältniss zu anderen Nebenlinien zu Fr. 10000 oder in Rücksicht von erhöhten Gebirgstaxen zu Fr. 12000 per Kilometer, ferner die Bruttoeinnahmen für den grössern Transit vermöge gesteigerter Concurrenzfähigkeit zu Fr. 15000, indem die Bernhardinerlinie für die Routen München-Mailand und Genua, Ulm-Bologna und Ulm-Genua gegenüber Ulm-Venedig und Triest die Brennerlinie um mehr als 50 Kilometer über-

holen, während der Gotthard allein derselben nachstehen würde, so ergeben sich, da die letztern Einnahmen einer Strecke vom Bodensee bis zum Anschluss an die italienischen Bahnen von 250 Kilometern zu gut kommt, als Mehreinnahmen des ganzen Netzes:

vom internen Verkehr	103 × 12000	=	1,236,000 Fr.
» Transit	250 × 15000	=	3,750,000 »
im Ganzen:			4,986,000 Fr.

Rechnet man hiervon mit Rücksicht auf die Bergbahn 50 % für Betriebskosten ab, so bleibt eine Reineinnahme von Fr. 2,493,000, welche einem zu 5 % verzinsbaren Kapitale von Fr. 49,860,000 entspricht. Es würde demnach ein Rest des vermehrten Baukapitals von Fr. 31,640,000 durch anderweitige Subventionen zu decken sein, damit für das vereinigte Unternehmen aus dem zweiten Alpenübergange kein Verlust entstünde.

Zieht man ferner den Bau einer Simplonbahn, Sitten-Domo d'Ossola mit 102 Kilometer Länge in Berechuung, so kommt die Vermehrung des Transits in Folge erhöhter Concurrenzfähigkeit gegenüber dem Mont Cenis, namentlich durch die möglichst kürzeste Linie Paris-Mailand, wieder wenigstens 250 Kilometern schweizerischen Bahnen zu gut. Bei einer gleichen Verkehrszunahme per Bahnkilometer wie bei der östlichen Bahn würde daher eine gleiche Mehreinnahme im Ganzen erzielt oder nochmals ein Kapital von ca. Fr. 50,000,000 zu 5 % verzinst. Berechnet man die Baukosten:

für Sitten-Briegg von 51 Kilom.	à Fr. 300,000 . . .	=	Fr. 15,600,000
für Briegg-Domo d'Ossola von 50 Kilom.	à Fr. 1,000,000	=	» 50,000,000
die Zinsen während der Bauzeit zu			» 4,400,000
im Ganzen zu			Fr. 70,000,000

so ergibt sich ein weiterer Ausfall zur Deckung des Baukapitals von Fr. 20,000,000.

Nach diesen Voraussetzungen, die, wie gesagt, nicht alle auf speciellen Untersuchungen beruhen, und deren Würdigung ich daher dem Leser überlassen muss, *könnten also mit einem Opfer von 52,000,000 Fr. zugleich mit der Gotthardbahn zwei andere Alpenbahnen erstellt werden, ohne dass die Rendite des Baukapitals unter 5 % herabgedrückt würde, insofern der Zuwachs der Einnahmen der schweizerischen Bahnen dem Unternehmen zufliessen würde, und alle drei Alpenbahnen zusammen würden noch keine so grosse Subvention erfordern, als das Gotthardprojekt mit dem Tunnel Göschenen-Airolo allein.*

Ein grosser Theil des Kapitals für die Alpenbahnen ist immerhin in den angrenzenden Bahnen gleichsam als schon ausgegeben zu betrachten. Gehörten sie alle auf Schweizergebiet dem Staate, so dürfte die Entscheidung, ob die aus dem über die Alpen ausgedehnten Unternehmen erwachsenden allgemeinen Vortheile für Landwirthschaft, Handel und Industrie den weiter erforderlichen Einsatz werth wären, nicht schwer fallen, besonders wenn sich auswärtige Staaten, Gesellschaften und Städte, ungeachtet der Ungunst der Umstände, angemessen betheiligen würden.

Schluss.

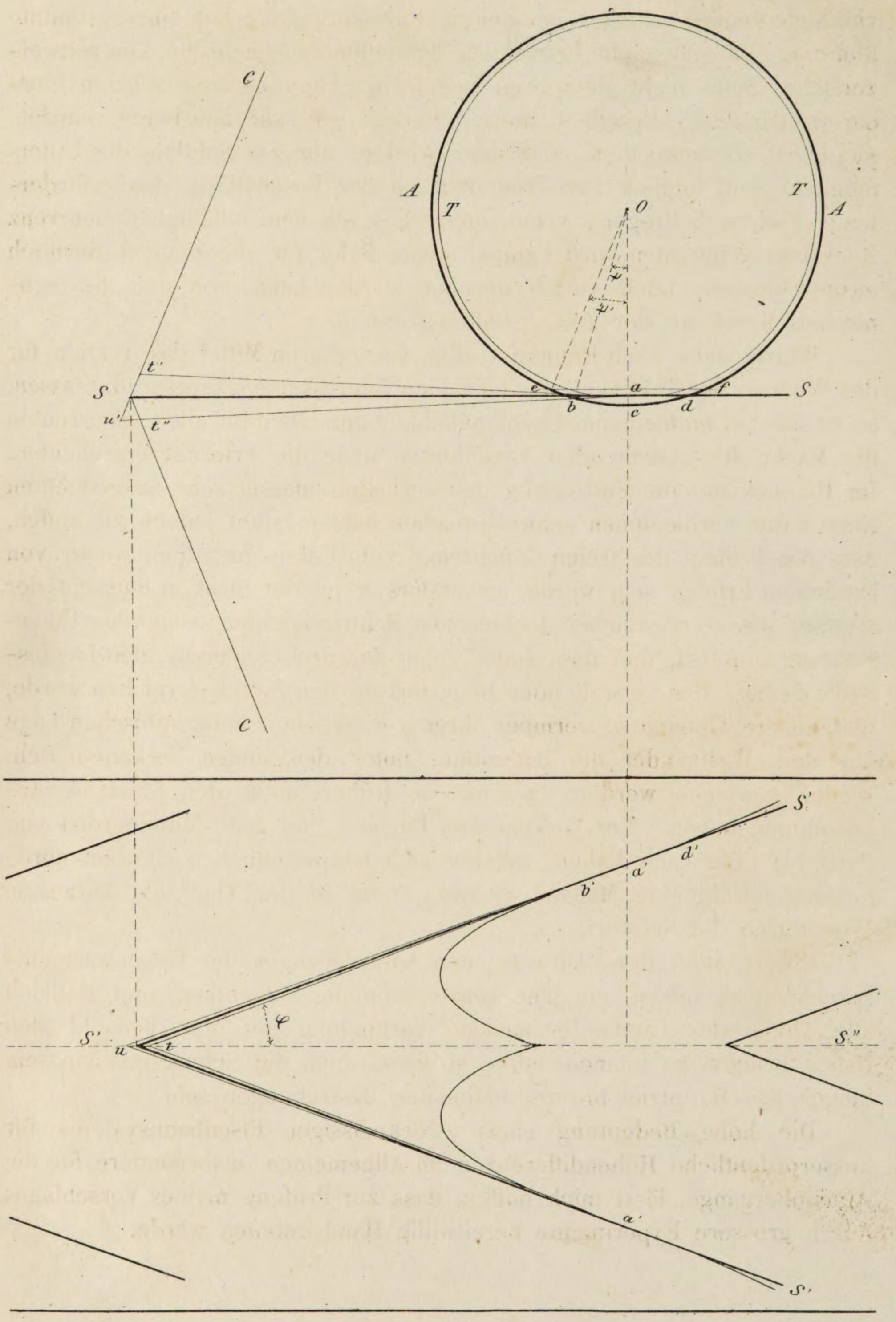
Mit verhältnissmässig geringen Kosten lässt sich auf jeder Bahn mit starken Steigungen, wie wir in der Schweiz mehrere haben, ohne Betriebsstörungen der Versuch zur Prüfung meiner Resultate machen. Zu diesem Zwecke kann von alten Schienen und einer jeden Maschine mit einiger Modification Gebrauch gemacht werden. Bewährt sich das System durch grössere Experimente, wie ich die Ueberzeugung habe, so ist zu hoffen, die schweizerische Alpenbahnfrage gehe auf irgend eine Weise einer nahen Lösung entgegen. Stehen einer Vereinigung der verschiedenen Landesgegenden und Bahngesellschaften zur gemeinsamen Durchführung mehrerer Bahnen zu grosse Hindernisse im Wege, so dürften sie sich doch dahin verständigen, die Hülfsmittel im Allgemeinen zu vermehren, was schliesslich nur zum Nutzen einer jeden Partei gereichen könnte. Die Uebernahme der Verpflichtung von Seite des Bundes, *jeder schweizerischen Alpenbahn mit einer gleichen Subvention beizustehen,* wäre ohne Zweifel die nächste Folge einer gegenseitigen Handreichung. Abgesehen von dem materiellen Werthe einer solchen Zusicherung an sich, könnte sie in anderer Beziehung einen erfolgreichen Ausgangspunkt bilden. Zur Förderung der Sache entstünde ein einflussreiches Centralorgan, indem die Bundesbehörden dadurch in die Lage versetzt würden, mit allgemeinen Vorbereitungen, namentlich zur Erzielung auswärtiger Betheiligung thatkräftig voranzugehen, ohne die neutrale Stellung aufzugeben. Können Subsidien im In- und Auslande mit Aussicht auf Erfolg nach Convenienz für den einen oder den andern der fraglichen Pässe geleistet werden, so wird die Summe derselben voraussichtlich

viel bedeutender ausfallen, als bei einer Beschränkung auf eine bestimmte Richtung. Da sich solche Leistungen, namentlich ausländische, von schweizerischer Seite nicht decretiren lassen, so kann es sich ohnehin bloss darum handeln, dieselben in der Form, wie sie anerboten wurden, möglichst zu verwerthen, Uebrigens wird es nur zur Solidität des Unternehmens und folglich zur Erleichterung der Beschaffung des erforderlichen Geldes beitragen, wenn von Anfang auf eine allfällige Concurrenz Rücksicht genommen wird, zumal keine Bahn für die Zukunft förmlich ausgeschlossen, noch vorher gesehen werden kann, wie sich die technischen Mittel mit der Zeit gestalten werden.

Würde dann nach Kenntniss aller verfügbaren Mittel das Terrain für das Weitere der Thätigkeit der einzelnen Interessentengruppen überlassen, so müsste bei momentaner Unzulänglichkeit derselben für alle Concurrenten die Macht der obwaltenden Verhältnisse über die Priorität entscheiden. Im Hinblick auf die Entstehung des verhältnissmässig sehr ausgedehnten Netzes der vorhandenen schweizerischen Bahnen steht jedoch zu hoffen, dass das Princip der freien Concurrenz vom Fusse der Alpen weiter von ähnlichem Erfolge sein werde, besonders wenn der Staat in Betracht der allseitig ausserordentlichen technischen Schwierigkeiten freimüthig Unterstützung gewährt, und dass somit jeder der drei concurrirenden Landestheile gemäss den vorwaltenden Bedürfnissen den Zweck erreichen werde, und unsere Alpenpässe vermöge ihrer vorzüglichen geographischen Lage für den Welthandel die Bedeutung unter den neuen Verkehrsmitteln wieder gewinnen werden, welche sie früher unter den Strassen eingenommen haben. Der Verkehr von England und ganz Mitteleuropa von Paris bis Prag nach Italien, welcher sich hauptsächlich nach dem nördlichen Centralpunkte Mailand richtet, findet in der That den kürzesten Weg durch die Schweiz.

Unsere alten Handelstrassen den Anforderungen der Gegenwart entsprechend zu öffnen, um jene ganze Strömung aufnehmen, und zugleich alle Theile des Landes in nächste Verbindung mit dem benachbarten Italien bringen zu können, muss, so gross auch die Schwierigkeiten sein mögen, ein Hauptziel unserer nationalen Bestrebungen sein.

Die hohe Bedeutung eines zweckmässigen Eisenbahnsystems für ausserordentliche Höhendifferenzen im Allgemeinen, insbesondere für die Alpenübergänge, lässt mich hoffen, dass zur Prüfung meines Vorschlages durch grössere Experimente bereitwillig Hand geboten werde.


C
A
T
O
T
A
t'
S
e
a
f
S
b
c
d
u'
t''
C
S'
d'
a'
b'
φ
S'
u
t
S''
a'
S'

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Wetli, Kaspar

Grundzüge eines neuen Locomotivsystems für Gebirgsbahnen mit Bezugnahme auf die Schweizerische Alpenbahnfrage

Zürich 1868

A.hydr. 1138
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10060237-2